

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-338644

(P2003-338644A)

(43) 公開日 平成15年11月28日 (2003. 11. 28)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

ターミナル (参考)

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z 5 D 0 3 4

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

M 5 E 0 4 9

H 0 1 F 10/16

H 0 1 F 10/16

10/32

10/32

審査請求 未請求 請求項の数36 O L (全 39 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2002-329144(P2002-329144)

(22) 出願日

平成14年11月13日 (2002. 11. 13)

(31) 優先権主張番号

特願2001-352571(P2001-352571)

(32) 優先日

平成13年11月19日 (2001. 11. 19)

(33) 優先権主張国

日本 (J P)

(31) 優先権主張番号

特願2002-64780(P2002-64780)

(32) 優先日

平成14年3月11日 (2002. 3. 11)

(33) 優先権主張国

日本 (J P)

(71) 出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 斎藤 正路

東京都大田区雪谷大塚1番7号 アルプス

電気株式会社社内

(72) 発明者 長谷川 直也

東京都大田区雪谷大塚1番7号 アルプス

電気株式会社社内

(74) 代理人 100085453

弁理士 野▲崎▼ 照夫 (外1名)

最終頁に続く

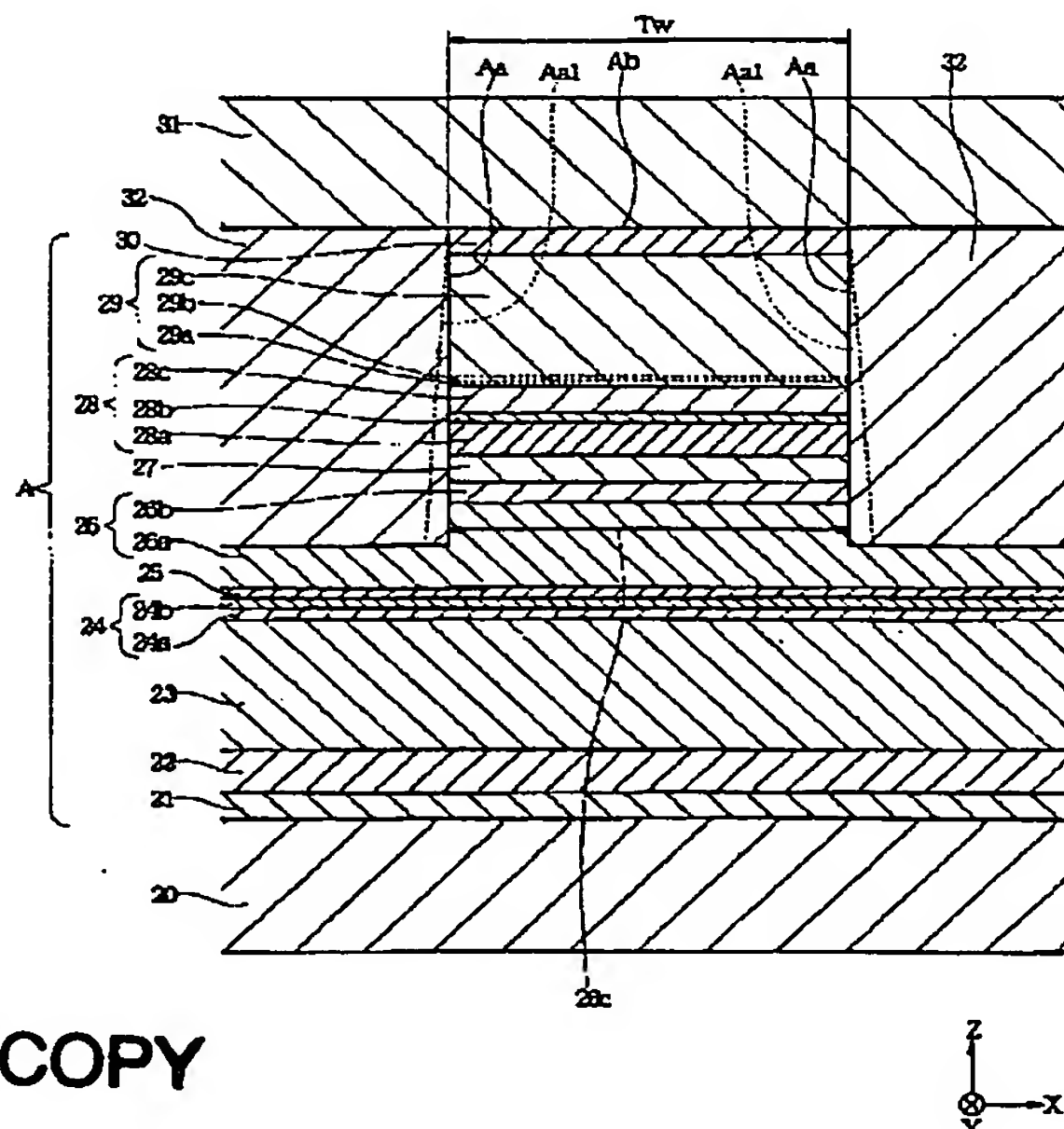
(54) 【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 フリー磁性層の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行ない、さらなる狭トラック化を促進できる磁気検出素子を提供する。

【解決手段】 第2反強磁性層23と強磁性層24との間の交換結合磁界によって、強磁性層24の磁化方向が固定され、非磁性層25を介した強磁性層24とフリー磁性層26のRKKY相互作用によって、フリー磁性層26の磁化方向が固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向に向けられている。フリー磁性層26の磁化方向の制御は、第2反強磁性層と強磁性層24間の交換結合磁界の大きさと、強磁性層24とフリー磁性層26間のRKKY相互作用の大きさの2段階で調節されることになり、細かな制御を容易に行うことができる。

図1



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 反強磁性層と、この第 1 反強磁性層によって磁化方向が固定された固定磁性層、非磁性材料層、及び外部磁界により磁化方向が変化するフリー磁性層を有する多層膜を有する磁気検出素子において、前記固定磁性層及び前記フリー磁性層は強磁性材料からなる強磁性材料層を有し、前記フリー磁性層の少なくともトラック幅領域の上層または下層に、非磁性層を介して強磁性層及び第 2 反強磁性層が積層されており、前記第 2 反強磁性層との交換結合磁界により前記強磁性層の磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項 2】 前記フリー磁性層は、前記強磁性層との前記非磁性層を介した層間結合磁界によって単磁区化され、磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられている請求項 1 記載の磁気検出素子。

【請求項 3】 前記非磁性層が、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されている請求項 1 または 2 に記載の磁気検出素子。

【請求項 4】 前記非磁性層がRuによって形成され、膜厚が8 Å～11 Å又は15 Å～21 Åである請求項 3 に記載の磁気検出素子。

【請求項 5】 前記非磁性層を介した前記フリー磁性層と前記強磁性層間の層間結合磁界の大きさが、前記第 2 反強磁性層と前記強磁性層間の交換結合磁界の大きさより小さい請求項 2 ないし 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 6】 前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) が、前記フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) よりも小さい請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 7】 前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) に対する前記フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) の比率が、3 以上で 20 以下の範囲である請求項 6 に記載の磁気検出素子。

【請求項 8】 前記強磁性層は、前記非磁性層に接する側がNiFe (パーマロイ) 層あるいはNiFeX (XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種あるいは2種以上の元素) であり、前記第 2 反強磁性層に接する側がCo (コバルト) を含む強磁性材料からなる層である積層構造を有する請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 9】 前記強磁性層がNiFe (パーマロイ) からなる単層構造であり、膜厚が0 nmより大きく3 nm以下である請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 10】 前記強磁性層は、CoFeCrあるいはCoFeからなる単層構造である請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 11】 前記フリー磁性層には、少なくとも前記非磁性層に接する側に、NiFe (パーマロイ) 層あるいはNiFeX (XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種あるいは2種以上の元素) からなる磁性領域が存在する請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 12】 前記フリー磁性層には、前記非磁性材料層に接する側にCo (コバルト) を含む強磁性材料からなる磁性領域が存在する請求項 11 記載の磁気検出素子。

【請求項 13】 前記Coを含む強磁性材料とは、CoFeあるいはCoFeCrである請求項 8 または 12 に記載の磁気検出素子。

【請求項 14】 再生効率 η (%) は、10%以上で50%以下である請求項 1 ないし 13 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 15】 前記フリー磁性層のトラック幅領域の磁化方向は、外部磁界が印加されると、外部磁界が印加されていないときの磁化方向に対して12°以上傾く請求項 1 ないし 14 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 16】 前記多層膜は下から、前記第 1 反強磁性層、前記固定磁性層、前記非磁性材料層、前記フリー磁性層、前記非磁性層、前記強磁性層、前記第 2 反強磁性層の順序で積層されている請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 17】 前記多層膜は下から、前記第 2 反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性層、前記フリー磁性層、前記非磁性材料層、前記固定磁性層及び前記第 1 反強磁性層の順序で積層されている請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 18】 前記フリー磁性層は、膜厚方向の一部分のみがトラック幅寸法のトラック幅方向寸法を有し、残りの部分はトラック幅寸法より大きいトラック幅方向寸法を有する請求項 17 に記載の磁気検出素子。

【請求項 19】 前記フリー磁性層は、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる複数の強磁性材料層が、非磁性中間層を介して積層され、前記非磁性中間層を介して隣接する前記強磁性材料層の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態である請求項 1 ないし 18 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 20】 前記非磁性中間層は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されている請求項 19 に記載の磁気検出素子。

【請求項 21】 前記複数の強磁性材料層の少なくとも一層を、以下の組成を有する磁性材料で形成する請求項 19 または 20 に記載の磁気検出素子。組成式がCoF

eNiで示され、Feの組成比は9原子%以上17原子%以下で、Niの組成比は0.5原子%以上10原子%以下で、残りの組成比はCoである磁性材料。

【請求項22】 前記非磁性材料層に最も近い位置に積層された前記強磁性材料層と前記非磁性材料層との間にCoFe合金あるいはCoからなる中間層を形成する請求項19または20に記載の磁気検出素子。

【請求項23】 前記複数の強磁性材料層の少なくとも一層を、以下の組成を有する磁性材料で形成する請求項22記載の磁気検出素子。組成式がCoFeNiで示され、Feの組成比は7原子%以上15原子%以下で、Niの組成比は5原子%以上15原子%以下で、残りの組成比はCoである磁性材料。

【請求項24】 前記複数の強磁性材料層の全ての層を前記CoFeNiで形成する請求項21または23に記載の磁気検出素子。

【請求項25】 前記多層膜の上面に上部電極層が電氣的に接続され、前記多層膜の下面に下部電極層が電氣的に接続され、前記多層膜の膜面と垂直方向に電流が供給される請求項1ないし24のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項26】 前記多層膜が、半金属強磁性ホイスラー合金層を有する請求項1ないし25のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項27】 前記半金属強磁性ホイスラー合金層にはNiFe層が接している請求項26に記載の磁気検出素子。

【請求項28】 前記第1反強磁性層及び前記第2反強磁性層が、同一の組成を有する反強磁性材料によって形成されている請求項1ないし27のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項29】 前記第1反強磁性層及び／又は前記第2反強磁性層は、PtMn合金、または、X—Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt—Mn—X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で形成される請求項1ないし28のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項30】 前記多層膜は、前記フリー磁性層の上側あるいは下側に前記非磁性層を介して強磁性層及び前記第2反強磁性層が積層され、少なくとも前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側端面に非磁性材料層を介して固定磁性層が形成され、前記固定磁性層上に前記1反強磁性層が積層された構造であり、前記第1反強磁性層上に電極層が形成される請求項1ないし15、19ないし21、23、24、26ないし29のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項31】 以下の工程を有することを特徴とする

磁気検出素子の製造方法。

(a) 基板上に、下から第2反強磁性層、強磁性層、非磁性層、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層、中間反強磁性層及び非磁性保護層の順に積層する工程と、

(b) 第1の磁場中アニールを施して、前記第2反強磁性層と前記強磁性層間に交換結合磁界を発生させ、前記強磁性層の磁化をトラック幅方向に固定する工程と、

(c) 前記非磁性保護層を全部または一部削る工程と、

(d) 前記非磁性保護層上または中間反強磁性層上に上部反強磁性層を形成し、前記中間反強磁性層と前記上部反強磁性層を有する第1反強磁性層を形成する工程と、

(e) 第2の磁場中アニールを施し、前記第1反強磁性層と前記固定磁性層間に交換結合磁界を発生させ、前記固定磁性層の磁化を前記強磁性層の磁化方向と交叉する方向に固定する工程。

【請求項32】 前記非磁性保護層を、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Crのいずれか1種または2種以上で形成する請求項31に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項33】 前記(a)工程で、前記中間反強磁性層を10Å以上50Å以下で形成する請求項31または32に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項34】 前記中間反強磁性層を30Å以上40Å以下で形成する請求項33記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項35】 前記(a)工程で、前記非磁性保護層を3Å以上10Å以下で形成する請求項31ないし34のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項36】 前記(c)工程で、前記非磁性保護層の膜厚が3Å以下となるまで、前記非磁性保護層を削り込むか、あるいは前記非磁性保護層を全て除去する請求項31ないし35のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、主に、磁気センサやハードディスクなどに用いられる磁気検出素子及びその製造方法に係り、特に狭トラック幅化への対応を容易にし、磁界検出能力を向上させることができる磁気検出素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 図18は、従来の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面から見た断面図である。

【0003】 図18に示す磁気検出素子は、巨大磁気抵抗効果を利用したGMR (giant magnetoresistive) 素子の1種であるスピンプルブ型磁気検出素子と呼ばれるものであり、ハードディスクなどの記録媒体からの記録磁界を検出するものである。

【0004】 このスピンプルブ型磁気検出素子は、下から基板8、第1反強磁性層1、固定磁性層（ピン (Pinn

ed) 磁性層) 2、非磁性材料層 3、フリー磁性層 (Free) 4 で構成された多層膜 9 と、この多層膜 9 の上層に形成された一対の第 2 反強磁性層 6, 6 及びこの第 2 反強磁性層 6, 6 の上に形成された一対の電極層 7, 7 とで構成されている。

【0005】前記第 1 反強磁性層 1 及び第 2 反強磁性層 6, 6 には Fe-Mn (鉄-マンガン) 合金膜、Ni-Mn (ニッケル-マンガン) 合金膜、又は Pt-Mn (白金-マンガン) 合金膜、固定磁性層 2 及びフリー磁性層 4 には Ni-Fe (ニッケル-鉄) 合金膜、非磁性材料層 3 には Cu (銅) 膜、また電極層 7, 7 には Cr 膜が一般的に使用される。

【0006】固定磁性層 2 の磁化は第 1 反強磁性層 1 との交換異方性磁界により Y 方向 (記録媒体からの洩れ磁界方向; ハイト方向) に単磁区化され、フリー磁性層 4 の磁化は、前記第 2 反強磁性層 6, 6 からの交換異方性磁界の影響を受けて X 方向に揃えられることが望ましい。

【0007】すなわち固定磁性層 2 の磁化と、フリー磁性層 4 の磁化とが、直交することが望ましい。

【0008】このスピバルブ型磁気検出素子では、第 2 反強磁性層 6, 6 上に形成された電極層 7, 7 から、フリー磁性層 4、非磁性材料層 3 及び固定磁性層 2 に検出電流 (センス電流) が与えられる。ハードディスクなどの記録媒体の走行方向は Z 方向であり、記録媒体からの洩れ磁界が Y 方向に与えられると、フリー磁性層 4 の磁化が X から Y 方向へ向けて変化する。このフリー磁性層 4 内での磁化の方向の変動と、固定磁性層 2 の固定磁化方向との関係で電気抵抗が変化し (これを磁気抵抗効果という)、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0009】またフリー磁性層 4 にバイアス磁界を与える手段としては図 18 に示す方法以外に後述する図 20 に示すような方法や、以下の特許文献 1 などの方法が種々知られている。

【0010】

【特許文献 1】USP 6, 023, 395

【0011】

【発明が解決しようとする課題】図 18 のスピバルブ型磁気検出素子を製造するときには、多層膜 9 を形成した後、図 19 に示すように多層膜 9 上にリフトオフ用のレジスト層 R を形成し、イオンビームスパッタ法などを用いて第 2 反強磁性層 6, 6、及び電極層 7, 7 を成膜する。レジスト層 R 上には、第 2 反強磁性層 6, 6 と同じ組成の層 6a, 6a 及び電極層 7, 7 と同じ組成の層 7a, 7a が形成される。

【0012】レジスト層 R の両端部によって覆われている領域は、スパッタ粒子が積層されにくい。従って、レジスト層 R の両端部によって覆われている領域付近は、第 2 反強磁性層 6, 6 及び電極層 7, 7 は膜厚が薄く形

成され、図 18 及び図 19 に示されるように第 2 反強磁性層 6, 6 及び電極層 7, 7 の膜厚方向寸法がトラック両脇部分 S, S において減少する。

【0013】このため、トラック両脇部分 S, S におけるフリー磁性層 4 と第 2 反強磁性層 6, 6 との交換結合磁界の効果が減少してしまう。その結果、図 19 におけるフリー磁性層 4 のトラック両脇部分 S, S の磁化方向が、X 方向に完全に固定されず、外部磁界が印加されたときに変化してしまう。

【0014】特に、磁気記録媒体における記録密度を向上させるために、狭トラック化を図った場合、本来トラック幅 Tw の領域内で読み取るべき磁気記録トラックの情報だけでなく、隣接する磁気記録トラックの情報を、トラック両脇部分 S, S の領域において読み取ってしまうという、サイドリーディングが発生する可能性が生じるという問題があった。

【0015】また、フリー磁性層 4 のトラック幅方向の両端部上に一対の第 2 反強磁性層 6, 6 を積層する構造だと、フリー磁性層 4 のトラック幅方向の中央部の単磁区化及び磁化方向の制御が不十分になりやすい。

【0016】そこで、図 18 に示される磁気検出素子のように、フリー磁性層 4 の両端部上に、トラック幅寸法の幅を開けて一対の第 2 反強磁性層 6, 6 を積層するのではなく、図 20 に示される磁気検出素子のように、フリー磁性層 4 の上面全体に第 2 反強磁性層 10 を重ねることにより、フリー磁性層 4 のトラック幅寸法 Tw の領域を単磁区化して、磁化方向を固定磁性層 1 の磁化方向に直交する方向に向けさせる構造も考えられた。

【0017】フリー磁性層 4 のトラック幅寸法 Tw の領域を単磁区化して、磁化方向を固定磁性層 1 の磁化方向に直交する方向に向けさせるためには、フリー磁性層 4 と第 2 反強磁性層 10 間の交換結合磁界を大きくする必要があるが、この交換結合磁界が大きくなりすぎると、記録媒体からの洩れ磁界が Y 方向に与えられたときにフリー磁性層 4 の磁化が変化しなくなり、磁気検出能力が失われることになる。

【0018】しかし、図 20 のような構造は、フリー磁性層 4 の磁化方向を固定磁性層 1 の磁化方向に直交する方向に向け、かつフリー磁性層 4 の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることができるような範囲に、フリー磁性層 4 と反強磁性層 10 間の交換結合磁界の大きさを調節することが非常に困難であり、実用性が低いものであった。

【0019】また特許文献 1 では、例えばフリー磁性層の上にスペーサ層 (spacer layer) を介してバイアス層 (biasing layer) が設けられており、前記バイアス層のトラック幅方向の端部と前記フリー磁性層のトラック幅方向の端部間での静磁結合により、前記フリー磁性層の磁化を単磁区化している。特許文献 1 のようにバイアス層との端部間での静磁結合を用いて前記フリー

磁性層の磁化を揃える方法を Instack bias方式と呼んでいる。

【0020】しかし特許文献1のような Instack bias方式では、フリー磁性層に適度なバイアス磁界を供給するための、前記スペーサ層の膜厚の制御やフリー磁性層とバイアス層との端部間の距離の制御が非常に難しく、素子サイズが狭小化している近年においてはなおさらである。特にフリー磁性層の端部は中央部に比べて静磁結合の影響を強く受けるため、フリー磁性層全体に一樣なバイアス磁界の供給はされず、フリー磁性層の端部が強く磁化されてここが不感領域となり、この結果、フリー磁性層の中央部も磁性層内部での磁化相互作用によって外部磁界に対し反転しやすくなる。

【0021】また素子サイズが狭小化している近年にあつては、前記静磁結合によるバイアス磁界が前記フリー磁性層のみならず他の層にも流入しやすく、再生特性に悪影響を及ぼしやすいという問題もある。

【0022】そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、フリー磁性層の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行なうことができ、狭トラック化を促進できる磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明は、第1反強磁性層と、この第1反強磁性層によって磁化方向が固定された固定磁性層、非磁性材料層、及び外部磁界により磁化方向が変化するフリー磁性層を有する多層膜を有する磁気検出素子において、前記固定磁性層及び前記フリー磁性層は強磁性材料からなる強磁性材料層を有し、前記フリー磁性層の少なくともトラック幅領域の上層または下層に、非磁性層を介して強磁性層及び第2反強磁性層が積層されており、前記第2反強磁性層との交換結合磁界により前記強磁性層の磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられていることを特徴とするものである。

【0024】本発明では、前記第2反強磁性層との交換結合磁界により前記強磁性層の磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられており、前記フリー磁性層が前記非磁性層を介して前記強磁性層に積層されているため、前記フリー磁性層の単磁区化及び磁化方向の制御は、前記反強磁性層と前記強磁性層間の交換結合磁界の大きさと、前記強磁性層と前記フリー磁性層間の磁氣的結合の大きさの2段階で調節されることになり、細かな制御を容易に行うことができる。

【0025】従って、本発明では、前記フリー磁性層の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行なうことができるので、磁気検出素子のさらなる狭トラック化を促進することができる。

【0026】また本発明では、前記フリー磁性層のトラック幅領域上に、前記非磁性層を介して前記強磁性層及

び前記第2反強磁性層が積層される構造でも、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向に確実に向けて、なおかつ前記フリー磁性層の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることが可能になる。

【0027】従って、本発明では、前記フリー磁性層のトラック幅領域の中央部と両端部で、前記フリー磁性層の磁化方向が異なる状態になりにくくできる。

【0028】また、本発明では、前記フリー磁性層は、前記強磁性層との前記非磁性層を介した層間結合磁界によって単磁区化され、磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられていることが好ましい。

【0029】例えば、前記フリー磁性層と前記強磁性層との間には、前記非磁性層を介したRKKY相互作用が発生する。その結果、前記フリー磁性層が単磁区化し、その磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられる。

【0030】このように、本発明では、前記強磁性層との前記非磁性層を介した層間結合磁界によって、前記フリー磁性層の単磁区化及び磁化方向の制御が行われるので、記録媒体からの洩れ磁界などの外部磁界によって、前記フリー磁性層にかかる縦バイアス磁界が乱れ、前記フリー磁性層の磁区構造が乱されることを抑制できる。

【0031】前記フリー磁性層と前記強磁性層との間に安定したRKKY相互作用を生じさせるためには、前記非磁性層が、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されることが好ましい。

【0032】前記非磁性層をRuによって形成し、前記フリー磁性層と前記強磁性層の磁化方向を180°異ならせた人工フェリ状態にするときには、前記Ruの膜厚を8Å～11Å又は15Å～21Åにすることが好ましい。

【0033】本発明では、前記第2反強磁性層と前記強磁性層間の交換結合磁界を大きくして、前記強磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に強く固定した上で、前記非磁性層を介した前記フリー磁性層と前記強磁性層間の層間結合磁界の大きさを、前記第2反強磁性層と前記強磁性層間の前記交換結合磁界よりも小さくすることにより、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向に確実に向け、なおかつ前記フリー磁性層の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることができるように調節する必要がある。

【0034】前記第2反強磁性層と前記強磁性層間の交換結合磁界を大きくし、前記フリー磁性層と前記強磁性層間の層間結合磁界の大きさを前記交換結合磁界よりも小さくするために、本発明では、前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ(Ms×t；飽和磁束密度と膜厚の積)を前記フリー磁性層の単位面積あた

りの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$; 飽和磁束密度と膜厚の積) よりも小さくするという手法をとることができる。

【0035】具体的には、前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) に対する前記フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) の比率が、3以上で20以下の範囲であることが好ましい。

【0036】また、前記強磁性層の前記非磁性層に接する側をNiFe (パーマロイ) 層あるいはNiFeX (XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素) で形成することにより、前記フリー磁性層と前記強磁性層間の層間結合磁界の大きさを適度に小さくし、また、前記強磁性層の前記第2反強磁性層に接する側をCo (コバルト) を含む強磁性材料で形成することにより、前記第2反強磁性層と前記強磁性層間の交換結合磁界を大きくすることができる。

【0037】あるいは、本発明では、前記強磁性層をNiFe (パーマロイ) からなる単層構造とし、前記強磁性層の膜厚を0nmより大きく3nm以下として形成することにより、前記フリー磁性層を単磁区化して、その磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向に確実に向け、なおかつ前記フリー磁性層の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることができる。

【0038】また前記強磁性層は、CoFeCrあるいはCoFeからなる単層構造であってもよい。

【0039】また、前記フリー磁性層には、少なくとも前記非磁性層に接する側に、NiFe (パーマロイ) 層あるいはNiFeX (XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素) からなる磁性領域が存在することが好ましい。これにより、前記フリー磁性層と前記強磁性層間の層間結合磁界の大きさを適度に小さくできる。

【0040】また前記フリー磁性層には、前記非磁性材料層に接する側にCo (コバルト) を含む強磁性材料からなる磁性領域が存在することが好ましい。これにより、前記フリー磁性層に接する前記非磁性材料層への前記フリー磁性層の材料 (Ni など) の拡散を防止し、磁気抵抗変化率の低下を防ぐことができる。

【0041】また前記Coを含む強磁性材料とは、CoFeあるいはCoFeCrであることが好ましい。

【0042】なお、本発明の構造を有する磁気検出素子であれば、再生効率 η (%) を10%以上で50%以下にすることが可能である。なお、再生効率 η は、 $\eta = \{ (\text{記録媒体からの洩れ磁界による磁気検出素子の最大抵抗変化量}) / (\text{磁気検出素子の最大抵抗変化量の理論値}) \} \times 100$ として定義される。なお、磁気検出素子

の最大抵抗変化量の理論値とは、フリー磁性層と固定磁性層の磁化方向が反平行状態のときの抵抗値とフリー磁性層と固定磁性層の磁化方向が平行状態のときの抵抗値の差である。

【0043】本発明の磁気検出素子では、外部磁界が印加されときに、前記フリー磁性層のトラック幅領域の磁化方向が、外部磁界が印加されていないときの磁化方向に対して 12° 以上傾くようにできる。

【0044】本発明では、前記多層膜は下から、前記第1反強磁性層、前記固定磁性層、前記非磁性材料層、前記フリー磁性層、前記非磁性層、前記強磁性層、前記第2反強磁性層の順序で積層されているものとしてすることができる。

【0045】または、前記多層膜を下から、前記第2反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性層、前記フリー磁性層、前記非磁性材料層、前記固定磁性層及び前記第1反強磁性層の順序で積層されているものとしてもよい。

【0046】また、本発明における前記フリー磁性層において、前記フリー磁性層の膜厚方向の一部分のみがトラック幅寸法のトラック幅方向寸法を有し、残りの部分はトラック幅寸法より大きいトラック幅方向寸法を有するものであってもよい。

【0047】前記フリー磁性層の一部がトラック幅寸法より大きいトラック幅方向寸法を有するものであると、前記フリー磁性層の両側端部に生じる表面磁荷に起因するフリー磁性層内部の反磁界を小さくすることができ、前記フリー磁性層内部の磁化方向の乱れを低下させることができる。

【0048】特に、磁気検出素子が、前記多層膜の膜面と垂直方向に電流が供給されるCPP (Current Perpendicular to the Plane) 型であり、前記非磁性材料層、固定磁性層及び第1反強磁性層が前記フリー磁性層の上層にあるトップ型の磁気検出素子であると、前記フリー磁性層の一部がトラック幅寸法より大きいトラック幅方向寸法を有するように形成することが容易である。

【0049】また、前記フリー磁性層は、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる複数の強磁性材料層が、非磁性中間層を介して積層され、前記非磁性中間層を介して隣接する前記強磁性材料層の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態であると、前記フリー磁性層の実質的な単位面積当りの磁気モーメントを薄くすることができ、前記フリー磁性層の磁化方向の外部磁界に対する変動率を向上させることができる。すなわち、磁気検出素子の磁界検出感度が向上するので好ましい。また、前記フリー磁性層内部の反磁界を少なくさせることもできる。

【0050】前記非磁性中間層は、例えば、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されることが好ましい。

【0051】なお、本発明では、前記複数の強磁性材料層の少なくとも一層を、以下の組成を有する磁性材料で形成することが好ましい。

【0052】組成式が CoFeNi で示され、 Fe の組成比は 9 原子%以上 17 原子%以下で、 Ni の組成比は 0.5 原子%以上 10 原子%以下で、残りの組成比は Co である磁性材料。

【0053】また、前記非磁性材料層に最も近い位置に積層された前記強磁性材料層と前記非磁性材料層との間に CoFe 合金あるいは Co からなる中間層を形成することが好ましい。前記中間層を形成するときには、前記複数の強磁性材料層の少なくとも一層を、以下の組成を有する磁性材料で形成することが好ましい。

【0054】組成式が CoFeNi で示され、 Fe の組成比は 7 原子%以上 15 原子%以下で、 Ni の組成比は 5 原子%以上 15 原子%以下で、残りの組成比は Co である磁性材料。

【0055】さらに、本発明では、前記複数の強磁性材料層の全ての層を前記 CoFeNi で形成することが好ましい。

【0056】フリー磁性層が、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる複数の強磁性材料層が、非磁性中間層を介して積層され、前記非磁性中間層を介して隣接する前記強磁性材料層の磁化方向が反平行となる人工フェリ磁性状態であるとき、この反平行磁化状態を適切に保つには、前記フリー磁性層の材質を改良して前記複数の強磁性材料層間に働く RKKY 相互作用における交換結合磁界を大きくする必要がある。

【0057】前記強磁性材料層を形成する磁性材料としてよく使用されるものに NiFe 合金がある。 NiFe 合金は軟磁気特性に優れるため従来からフリー磁性層などに使用されていたが、前記フリー磁性層を積層フェリ構造にした場合、 NiFe 合金で形成された強磁性材料層間の反平行結合力はさほど強くはない。

【0058】そこで本発明では、前記強磁性材料層の材質を改良し、前記複数の強磁性材料層間の反平行結合力を強めるために、前記複数の強磁性材料層のうち少なくとも一層、好ましくは全ての層に CoFeNi 合金を使用することとしたのである。 Co を含有させることで上記の反平行結合力を強めることができる。

【0059】これにより、前記複数の強磁性材料層間で発生する RKKY 相互作用における交換結合磁界を強くすることができる。具体的には、反平行状態が崩れるときの磁界、すなわちスピントロップ磁界 (H_{sf}) を約 293 (kA/m) にまで大きくすることができる。

【0060】また上記した組成範囲内であると、前記複数の強磁性材料層の磁歪を -3×10^{-6} から 3×10^{-6} の範囲内に収めることができ、また保磁力を 790 (A/m) 以下に小さくできる。

【0061】なお、本発明は、前記多層膜の上面に上部

電極層が電氣的に接続され、前記多層膜の下面に下部電極層が電氣的に接続され、前記多層膜の膜面と垂直方向に電流が供給される CPP (Current Perpendicular to the Plane) 型の磁気検出素子に適用することが有効である。

【0062】CPP 型の磁気検出素子であるとき、前記多層膜が半金属強磁性ホイスラー合金層を有すると、前記多層膜内を流れるアップスピン電子とダウンスピン電子の比率を制御でき、磁気抵抗変化率を向上させることができるので好ましい。

【0063】また、前記半金属強磁性ホイスラー合金層が前記フリー磁性層の一部であるとき、前記半金属強磁性ホイスラー合金層に軟磁気特性が高い NiFe 層が接していると、磁気抵抗変化率を向上させることができるので好ましい。

【0064】なお、本発明では、前記第 1 反強磁性層及び前記第 2 反強磁性層を、同一の組成を有する反強磁性材料によって形成することができる。

【0065】また、前記第 1 反強磁性層及び／又は前記第 2 反強磁性層は、 PtMn 合金、または、 X-Mn (ただし X は、 Pd , Ir , Rh , Ru , Os , Ni , Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である) 合金で、あるいは Pt-Mn-X' (ただし X' は、 Pd , Ir , Rh , Ru , Au , Ag , Os , Cr , Ni , Ar , Ne , Xe , Kr のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である) 合金で形成されることが好ましい。

【0066】また本発明では、前記多層膜は、前記フリー磁性層の上側あるいは下側に前記非磁性層を介して強磁性層及び前記第 2 反強磁性層が積層され、少なくとも前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側端面に非磁性材料層を介して固定磁性層が形成され、前記固定磁性層上に前記第 1 反強磁性層が積層された構造であり、前記第 1 反強磁性層上に電極層が形成された磁気検出素子であってもよい。

【0067】この発明では、前記フリー磁性層及び固定磁性層をトラック幅方向に並べて配置し、前記電極層からの電流がトラック幅方向から固定磁性層を通過してフリー磁性層へ、あるいはフリー磁性層を通過して前記固定磁性層へ通電する流れ方向となっている。

【0068】上記した構造の磁気検出素子では、抵抗変化量 (ΔR) を大きくでき再生出力の向上をより効果的に図ることができるとともにトラック幅の狭小化により抵抗変化率の向上を図ることができ、さらに前記フリー磁性層及び固定磁性層をトラック幅方向に並べて配置した構造であっても前記フリー磁性層の上側あるいは下側に非磁性層を介して強磁性層及び第 2 反強磁性層を積層することで、前記フリー磁性層の磁化制御を適正化することができる。

【0069】また、本発明の磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

(a) 基板上に、下から第2反強磁性層、強磁性層、非磁性層、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層、中間反強磁性層及び非磁性保護層の順に積層する工程と、

(b) 第1の磁場中アニールを施して、前記第2反強磁性層と前記強磁性層間に交換結合磁界を発生させ、前記強磁性層の磁化をトラック幅方向に固定する工程と、

(c) 前記非磁性保護層を全部または一部削る工程と、

(d) 前記非磁性保護層上または中間反強磁性層上に上部反強磁性層を形成し、前記中間反強磁性層と前記上部反強磁性層を有する第1反強磁性層を形成する工程と、

(e) 第2の磁場中アニールを施し、前記第1反強磁性層と前記固定磁性層間に交換結合磁界を発生させ、前記固定磁性層の磁化を前記強磁性層の磁化方向と交叉する方向に固定する工程。

【0070】本発明では、前記(a)工程において、基板上に第2反強磁性層から非磁性保護層までを連続成膜している。

【0071】本発明において、前記非磁性保護層は酸化されにくい貴金属などからなるものであり、従来非磁性保護層として用いられていたTa膜のように酸化によって膜厚が大きくなることのない。

【0072】従って、前記非磁性保護層を薄く形成しても、十分な酸化防止効果を得ることができるので、低エネルギーのイオンミリングによって前記非磁性保護層の除去を行うことができ、前記非磁性保護層の下に形成された前記中間反強磁性層を前記イオンミリングによるダメージから適切に保護できる。

【0073】また前記貴金属元素などがアニールなどによって中間反強磁性層及び上部反強磁性層の内部に拡散しても、反強磁性層の性質が劣化することはない。従来使用されていたTa膜は、Ruなどに比べて反強磁性層の内部に拡散すると、反強磁性層の性質(機能)を劣化させやすいので好ましくない。

【0074】本発明では、前記非磁性保護層を、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Crのいずれか1種または2種以上で形成することが好ましい。

【0075】また、前記(a)工程で、前記中間反強磁性層を10Å以上50Å以下で形成するか、より好ましくは、30Å以上40Å以下で形成すると、前記(b)工程の第1の磁場中アニールによって、前記中間反強磁性層と前記固定磁性層間に交換結合磁界が発生せず、前記固定磁性層の磁化方向が前記フリー磁性層の磁化方向と同じ方向を向くことを避けることができる。

【0076】なお、本発明では前記非磁性保護層を薄く形成しても、十分な酸化防止効果を得ることができることを先に述べたが、具体的には、前記(a)工程で、前記非磁性保護層を3Å以上10Å以下で形成することができる。

【0077】また、前記(c)工程で、前記非磁性保護

層の膜厚が3Å以下となるまで、前記非磁性保護層を削り込むか、あるいは前記非磁性保護層を全て除去することが好ましい。

【0078】前記(c)工程で前記非磁性保護層を全て除去すると、前記第1反強磁性層は、前記中間反強磁性層及び前記上部反強磁性層のみから構成されることになる。しかし、前記非磁性保護層を全て除去すると、前記中間反強磁性層の表面がイオンミリングによって損傷し、反強磁性が低下することがある。

【0079】本発明では、前記非磁性保護層が3Å以下残っている程度であれば、前記非磁性保護層が前記中間反強磁性層と前記上部反強磁性層の間に残存していても、前記中間反強磁性層、前記非磁性保護層、及び前記上部反強磁性層とが一体として第1反強磁性層として機能することができる。

【0080】

【発明の実施の形態】図1は、本発明における第1の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0081】図1に示す磁気検出素子は、記録媒体に記録された外部信号を再生するためのGMRヘッドである。記録媒体との対向面は、例えば磁気検出素子を構成する薄膜の膜面に垂直で且つ磁気検出素子のフリー磁性層の外部磁界が印加されていないときの磁化方向と平行な平面である。図1では、記録媒体との対向面はX-Z平面に平行な平面である。

【0082】なお、磁気検出素子が浮上式の磁気ヘッドに用いられる場合、記録媒体との対向面とは、いわゆるABS面のことである。

【0083】また磁気検出素子は、例えばアルミナーチタンカーバイト(Al₂O₃-TiC)で形成されたスライダのトレーリング端面上に形成される。スライダは、記録媒体との対向面と逆面側で、ステンレス材などによる弾性変形可能な支持部材と接合され、磁気ヘッド装置が構成される。

【0084】なお、トラック幅方向とは、外部磁界によって磁化方向が変動する領域の幅方向のことであり、例えば、フリー磁性層の外部磁界が印加されていないときの磁化方向、すなわち図示X方向である。

【0085】なお、記録媒体は磁気検出素子の記録媒体との対向面に対向しており、図示Z方向に移動する。この記録媒体からの洩れ磁界方向は図示Y方向である。

【0086】図1では、スライダのトレーリング端面上にアルミナ層(図示せず)を介して、下部電極層を兼用する下部シールド層20が形成され、下部シールド層20上に、下地層21、シード層22、第2反強磁性層23、第1強磁性層24a及び第2強磁性層24bからなる強磁性層24、非磁性層25、第1磁性層26a及び第2磁性層26bからなるフリー磁性層26、非磁性材料層27、第2固定磁性層28a、非磁性中間層28

b、第1固定磁性層28cからなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層28、第1反強磁性層29、保護層30が下から順に積層された多層膜Aが形成されている。

【0087】多層膜Aの保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの膜厚方向の一部分まではトラック幅寸法Twのトラック幅方向寸法を有し、第1磁性層26aの残りの部分から強磁性層24、第2反強磁性層23、シード層22、下地層21のトラック幅方向寸法はトラック幅寸法Twより大きくなっている。

【0088】また、保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの途中までのトラック幅方向両側部には絶縁層32、32が形成されており、絶縁層32、32及び多層膜Aの保護層30上には、上部電極層を兼用する上部シールド層31が形成されている。

【0089】下部シールド層20から上部シールド層31までが、本発明の第1の実施の形態の磁気検出素子である。

【0090】図1では、下部シールド層20が下部電極層を兼用し、上部シールド層31が上部電極層を兼用しているが、下部シールド層と下部電極層及び上部シールド層と上部電極層がそれぞれ異なる材料で形成されている異なる層であってもよい。

【0091】図1に示される磁気検出素子は、いわゆるトップ型のスピバルブ型磁気検出素子である。

【0092】下部シールド層20、下地層21、シード層22、第2反強磁性層23、強磁性層24、非磁性層25、フリー磁性層26、非磁性材料層27、固定磁性層28、第1反強磁性層29、保護層30、絶縁層32、及び上部シールド層31はスパッタ法や蒸着法などの薄膜形成プロセスによって形成される。

【0093】スパッタ法としては、例えばマグネトロンスパッタ、RF2極スパッタ、RF3極スパッタ、イオンビームスパッタ、対向ターゲット式スパッタ等の既存するスパッタ装置を用いたスパッタ法によって形成することができる。また本発明では、スパッタ法や蒸着法の他に、MBE（モレキュラービームエピタキシー）法、ICB（イオンクラスタービーム）法などの成膜プロセスが使用可能である。

【0094】図1に示すように上記した下地層21から保護層30の各層で構成される多層膜Aは、保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの一部までのトラック幅方向（図示X方向）における両側端面Aa、Aaが、多層膜Aの表面Abに対して垂直な連続面となっている。ただし、図1の点線Aa1、Aa1で示されるように、保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの一部までのトラック幅方向における両側端面が、多層膜Aの表面Abに対する傾斜面Aa1、Aa1であってもよい。

【0095】なお、図1の磁気検出素子の光学トラック

幅Twは、非磁性材料層27のトラック幅方向寸法で決められる。本実施の形態の磁気検出素子では、光学トラック幅Twを0.1μm以下、特に0.06μm以下にして、200Gbit/in²以上の記録密度に対応することができる。

【0096】図1に示された磁気検出素子は、いわゆるスピバルブ型磁気検出素子であり、固定磁性層28の磁化方向が、適正に図示Y方向に平行な方向に固定され、しかもフリー磁性層26の磁化が適正に図示X方向に揃えられており、固定磁性層28とフリー磁性層26の磁化が直交関係にある。記録媒体からの洩れ磁界が磁気検出素子の図示Y方向に侵入し、フリー磁性層26の磁化が感度良く変動し、この磁化方向の変動と、固定磁性層28の固定磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0097】ただし、電気抵抗値の変化（出力）に直接寄与するのは第2固定磁性層28aの磁化方向とフリー磁性層26の磁化方向の相対角であり、これらの相対角が検出電流が通電されている状態かつ信号磁界が印加されていない状態で直交していることが好ましい。

【0098】なお、磁気検出素子の記録媒体との対向面に対向する記録媒体は、図示Z方向に移動する。

【0099】保護層30はTaなど導電性材料からなり、本実施の形態における膜厚は30Åである。

【0100】下部シールド層20及び上部シールド層31はNiFeなどの磁性材料を用いて形成される。なお、下部シールド層20及び上部シールド層31は磁化容易軸がトラック幅方向（図示X方向）を向いていることが好ましい。下部シールド層20及び上部シールド層31は、電解メッキ法によって形成されてもよい。

【0101】下地層21は、Ta、Hf、Nb、Zr、Ti、Mo、Wのうち少なくとも1種以上で形成されることが好ましい。下地層は50Å以下程度の膜厚で形成される。なおこの下地層は形成されていなくても良い。本実施の形態では、下地層21の膜厚は30Åである。

【0102】シード層22は、NiFe、NiFeCrやCrなどを用いて形成する。本実施の形態では、シード層22の膜厚は50Åである。

【0103】なお本実施における磁気検出素子は各層の膜面と垂直方向にセンス電流が流れるCPP型であるため、シード層にも適切にセンス電流が流れる必要がある。よってシード層は比抵抗の高い材質でないことが好ましい。すなわちCPP型ではシード層はNiFe合金、Crなどの比抵抗の低い材質で形成されることが好ましい。なおシード層は形成されなくても良い。

【0104】第2反強磁性層23及び第1反強磁性層29は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはP

t—Mn—X' (ただしX' は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である)合金で形成する。

【0105】本実施の形態では、第1反強磁性層29及び第2反強磁性層23を、同一の組成を有する反強磁性材料を用いて形成することができる。

【0106】これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造(fcc)であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造(fct)に構造変態する。

【0107】第2反強磁性層23の膜厚は80Å〜300Å、例えば150Åである。ここで、反強磁性層を形成するための、前記PtMn合金及び前記X—Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37〜63at%の範囲であることが好ましい。また、前記PtMn合金及び前記X—Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが47〜57at%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、〜で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0108】また、Pt—Mn—X'の式で示される合金において、X'+Ptが37〜63at%の範囲であることが好ましい。また、前記Pt—Mn—X'の式で示される合金において、X'+Ptが47〜57at%の範囲であることがより好ましい。さらに、前記Pt—Mn—X'の式で示される合金において、X'が0.2〜10at%の範囲であることが好ましい。ただし、X'がPd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である場合には、X'は0.2〜40at%の範囲であることが好ましい。

【0109】これらの合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する反強磁性層を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380℃と極めて高い優れた第2反強磁性層23及び第1反強磁性層29を得ることができる。

【0110】なお、後に説明する本実施の形態の磁気検出素子の製造方法を用いて、図1の磁気検出素子を形成すると、第1反強磁性層29が、10Å以上50Å以下の膜厚の中間反強磁性層29aと、1Å以上3Å以下の膜厚の貴金属などからなる非磁性保護層29b及び上部反強磁性層29cからなる多層構造を有するものになる。

【0111】中間反強磁性層29aと上部反強磁性層29cは、同じ組成の反強磁性材料、具体的には上述のPtMn合金、X—Mn合金で、あるいはPt—Mn—X'合金を用いて形成される。

【0112】中間反強磁性層29aの膜厚と上部反強磁性層29cの膜厚を合わせた総合膜厚は80Å以上50

0Å以下である。例えば150Åである。中間反強磁性層29aは、膜厚が10Å以上50Å以下と薄いため、単独では反強磁性を示さず、中間反強磁性層29aと上部反強磁性層29cが一体となって初めて反強磁性を示すようになり、固定磁性層28との間に交換結合磁界を生じさせる。

【0113】また、非磁性保護層29bは1Å以上3Å以下の薄い膜厚であり、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Crのいずれか1種または2種以上で形成されているので、中間反強磁性層29aと上部反強磁性層29cに反強磁性的な相互作用を生じさせ、中間反強磁性層29aと上部反強磁性層29cを一体の反強磁性層として機能させることが可能になる。また、非磁性保護層29bの材料が、中間反強磁性層29aと上部反強磁性層29c中に拡散しても、反強磁性の性質は劣化しない。

【0114】なお、非磁性保護層29bが存在せず、第1反強磁性層29が中間反強磁性層29aと上部反強磁性層29cからなるものであってもよい。また、第1反強磁性層29が単層の反強磁性層であってもよい。

【0115】第1固定磁性層28c及び第2固定磁性層28aは、強磁性材料により形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoFeNi合金、CoFe合金、CoNi合金などにより形成されるものであり、特にCoFe合金またはCoにより形成されることが好ましい。また、第1固定磁性層28c及び第2固定磁性層28aは同一の材料で形成されることが好ましい。

【0116】また、非磁性中間層28bは、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

【0117】第1固定磁性層28c及び第2固定磁性層28aは、それぞれ10〜70Å程度で形成される。例えば、第1固定磁性層28cの膜厚は30Åであり、第2固定磁性層28aの膜厚は40Åである。また非磁性中間層の膜厚は3Å〜10Å程度、例えば8Åで形成される。

【0118】図1では、単位面積当りの磁気モーメント($M_s \times t$; 飽和磁束密度と膜厚の積)が異なる第1固定磁性層28cと第2固定磁性層28aが、非磁性中間層28bを介して積層されたものが、一つの固定磁性層として機能する。

【0119】第1固定磁性層28cは第1反強磁性層29と接して形成され、磁場中アニールが施されることにより、第1固定磁性層28cと第1反強磁性層29との界面にて交換結合による交換異方性磁界(交換結合磁界)が生じ、第1固定磁性層28cの磁化方向が図示Y方向に固定される。第1固定磁性層28cの磁化方向が図示Y方向に固定されると、非磁性中間層28bを介し

て対向する第2固定磁性層28aの磁化方向が、第1固定磁性層28cの磁化方向と反平行の状態に固定される。

【0120】このように、第1固定磁性層28cと第2固定磁性層28aの磁化方向が、反平行となるフェリ磁性状態になっていると、第1固定磁性層28cと第2固定磁性層28aとが互いに他方の磁化方向を固定しあうので、全体として固定磁性層の磁化方向を一定方向に強力に固定することができる。

【0121】なお、第1固定磁性層28cの単位面積当りの磁気モーメント ($M_s \times t$) と第2固定磁性層28aの単位面積当りの磁気モーメント ($M_s \times t$) を足し合わせた合成の単位面積当りの磁気モーメント ($M_s \times t$) の方向が固定磁性層の磁化方向となる。

【0122】図1では、第1固定磁性層28c及び第2固定磁性層28aを同じ材料を用いて形成し、さらに、それぞれの膜厚を異ならせることにより、それぞれの単位面積当りの磁気モーメント ($M_s \times t$) を異ならせている。

【0123】また、第1固定磁性層28c及び第2固定磁性層28aの固定磁化による反磁界（双極子磁界）を、第1固定磁性層28c及び第2固定磁性層28aの静磁界結合同士が相互に打ち消し合うことによりキャンセルできる。これにより、固定磁性層28の固定磁化による反磁界（双極子磁界）からの、フリー磁性層26の変動磁化への寄与を減少させることができる。

【0124】従って、フリー磁性層26の変動磁化の方向を所望の方向に補正することがより容易になり、アシンメトリーの小さい対称性の優れたスピバルブ型磁気検出素子を得ることが可能になる。

【0125】ここで、アシンメトリーとは、再生出力波形の非対称性の度合いを示すものであり、再生出力波形が与えられた場合、波形が対称であればアシンメトリーが小さくなる。従って、アシンメトリーが0に近づく程再生出力波形が対称性に優れていることになる。

【0126】前記アシンメトリーは、フリー磁性層26の磁化の方向と固定磁性層28の固定磁化の方向とが直交しているときに0となる。アシンメトリーが大きくなるとメディアからの情報の読み取りが正確にできなくなり、エラーの原因となる。このため、前記アシンメトリーが小さいものほど、再生信号処理の信頼性が向上することになり、スピバルブ型磁気検出素子として優れたものとなる。

【0127】また、固定磁性層28の固定磁化による反磁界（双極子磁界）Hdは、フリー磁性層26の素子高さ方向において、その端部で大きく中央部で小さいという不均一な分布を持ち、フリー磁性層26内における単磁区化が妨げられる場合があるが、固定磁性層28を上記の積層構造とすることにより双極子磁界Hdを小さくすることができ、これによってフリー磁性層内に磁壁が

できて磁化の不均一が発生しバルクハウゼンノイズなどが発生することを防止することができる。

【0128】なお固定磁性層28は上記したいずれかの磁性材料を使用した1層構造あるいは上記したいずれかの磁性材料からなる層とCo層などの拡散防止層の2層構造で形成されていても良い。

【0129】非磁性材料層27は、固定磁性層28とフリー磁性層26との磁気的な結合を防止する層であり、Cu, Cr, Au, Agなど導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特にCuによって形成されることが好ましい。非磁性材料層27は例えば18~30Å程度の膜厚で形成される。本実施の形態では、非磁性材料層27の膜厚は、30Åである。

【0130】また非磁性材料層27は、Al₂O₃やSiO₂などの絶縁材料で形成されていてもよいが、本実施の形態のようにCPP型の磁気検出素子の場合には、非磁性材料層27内部にも、膜面と垂直方向にセンス電流が流れるようにしなければならないので、非磁性材料層27が絶縁物であるときは、非磁性材料層27の膜厚を50Å以下に薄くして形成してトンネル電流が流れるようにする必要がある。また非磁性材料層27をAl₂O₃やTa₂O₅またはCu-Al₂O₃複合膜のような絶縁材料を部分的に含む材料で形成したときは、非磁性材料層27を実効的な素子面積を低減させる電流制限層として機能させることもできる。

【0131】図1に示される磁気検出素子では、フリー磁性層26は、第1磁性層26a及び第2磁性層26bの2層構造である。

【0132】非磁性層25に接する側の第1磁性層26aは、NiFe（パーマロイ）層あるいはNiFeX（XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素）であり、非磁性材料層27に接する側の第2磁性層26bがCo、CoFe、CoFeNiなどCo（コバルト）を含む強磁性材料からなる層である。本実施の形態では、第1磁性層26aの膜厚は100Åであり、第2磁性層26bの膜厚は20Åである。Coを含む強磁性材料には、CoFe、CoFeCrを選択することが好ましい。

【0133】フリー磁性層26の第2磁性層26bをCo（コバルト）を含む強磁性材料からなる層で形成することにより、非磁性材料層27へのフリー磁性層26の材料（Niなど）の拡散を防止し、磁気抵抗変化率の低下を防ぐことができる。

【0134】なおフリー磁性層26を構成する第1磁性層26aと第2磁性層26bとの境界面は図面のようにはっきりと見て取れない場合がある。例えば前記第1磁性層26aと第2磁性層26bとが熱拡散を起す場合などである。かかる場合、前記境界面ははっきりとしなく

なる。従って図1に示す実施形態のように、第1磁性層26aと第2磁性層26bとの境界面がはっきりと見て取れない場合、フリー磁性層26には、少なくとも非磁性層25に接する側に、NiFeあるいはNiFeXからなる磁性領域が存在し、一方、非磁性材料層27に接する側にCoを含む強磁性材料層からなる磁性領域が存在していればよい。

【0135】本実施の形態では、フリー磁性層26のトラック幅領域26cの下層に非磁性層25を介して強磁性層24及び第2反強磁性層23が積層されている。

【0136】非磁性層25は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されている。本実施の形態では、非磁性層25の膜厚は、8Åである。

【0137】強磁性層24は、第1強磁性層24a及び第2強磁性層24bの2層構造である。本実施の形態では、例えば第1強磁性層24aの膜厚は8Åであり、第2強磁性層24bの膜厚は6Åである。

【0138】図1では、強磁性層24の非磁性層25に接する側である第2強磁性層24bをNiFe（パーマロイ）層あるいはNiFeX（XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素）で形成している。

【0139】また、第2反強磁性層23に接する側である第1強磁性層24aをCoやCoFeなどのCo（コバルト）を含む強磁性材料で形成している。第1強磁性層24aをCo（コバルト）を含む強磁性材料で形成することにより、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界を大きくすることができる。Coを含む強磁性材料にはCoFe、CoFeCrを選択することが好ましい。

【0140】なお強磁性層24においてもフリー磁性層26と同様に、前記強磁性層24には、少なくとも非磁性層25に接する側に、NiFeあるいはNiFeXからなる磁性領域が存在し、一方、第2反強磁性層23に接する側にCoを含む強磁性材料層からなる磁性領域が存在していればよい。

【0141】または、強磁性層24を、膜厚が0nmより大きく3nm以下である、NiFe（パーマロイ）からなる単層構造としてもよい。

【0142】あるいは、前記強磁性層24を、CoFeCrあるいはCoFeからなる単層構造で形成してもよい。

【0143】上記したいずれの単層構造においても後述する実験結果によれば、良好な再生特性を得ることができる。

【0144】図1に示される磁気検出素子では、強磁性層24の磁化方向が第2反強磁性層23との交換結合磁界により固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向へ向

けられている。

【0145】また、強磁性材料からなる強磁性材料層であるフリー磁性層26が、非磁性層25を介して強磁性層24に積層されているため、フリー磁性層26が、強磁性層24との非磁性層25を介した層間結合磁界、この場合はRKKY相互作用によって単磁区化され、磁化方向が固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向へ向けられている。

【0146】このように、強磁性層24との非磁性層25を介した層間結合磁界によって、フリー磁性層26の単磁区化及び磁化方向の制御が行われると、記録媒体からの洩れ磁界などの外部磁界によって、フリー磁性層26にかかる縦バイアス磁界が乱れ、フリー磁性層26の磁区構造が乱されることを抑制できる。

【0147】また、強磁性層24は、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる複数の強磁性材料層が、非磁性中間層を介して積層され、前記非磁性中間層を介して隣接する前記強磁性材料層の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態のものでもよい。これによって、強磁性層24の磁化方向を一方向に強固に固定することができる。

【0148】なお、非磁性層25をRuによって形成し、フリー磁性層26と強磁性層24の磁化方向を180°異ならせた、人工フェリ状態にするときには、Ruの膜厚を8Å～11Å又は15Å～21Åにすることが好ましい。

【0149】本発明では、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界を大きくして、強磁性層24の磁化方向を固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向に強く固定した上で、フリー磁性層26と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを前記交換結合磁界よりも小さくすることにより、フリー磁性層26を単磁区化して磁化方向を固定磁性層28の磁化方向に直交する方向に確実に向け、なおかつフリー磁性層26の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることができるように調節する必要がある。

【0150】第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界を大きくし、フリー磁性層26と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを交換結合磁界よりも小さくするために、本実施の形態では、強磁性層24の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ（ $M_s \times t$ ；飽和磁束密度と膜厚の積）をフリー磁性層26の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ（ $M_s \times t$ ；飽和磁束密度と膜厚の積）よりも小さくしている。

【0151】なお、強磁性層24の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ（ $M_s \times t$ ；飽和磁束密度と膜厚の積）は、第1強磁性層24aの単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ（ $M_s \times t$ ）と第2強磁性層24bの単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ（ $M_s \times t$ ）の和である。また、フリー磁性層26の単位面積あ

たりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$; 飽和磁束密度と膜厚の積) は、第 1 磁性層 26a の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) と第 2 磁性層 26b の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) の和である。

【0152】 具体的には、強磁性層 24 の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) に対するフリー磁性層 26 の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) の比率 (フリー磁性層 26 の $M_s \times t$ / 強磁性層 24 の $M_s \times t$) を、3 以上で 20 以下の範囲 10 にしている。

【0153】 また、強磁性層 24 の、非磁性層 25 に接する側である第 2 強磁性層 24b を NiFe (パーマロイ) 層あるいは NiFeX (X は Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Pt から選ばれる 1 種或いは 2 種以上の元素) で形成することにより、フリー磁性層 26 と強磁性層 24 間の層間結合磁界の大きさを適度に小さくしている。

【0154】 また、フリー磁性層 26 の、非磁性層 25 20 に接する側である第 1 磁性層 26a を NiFe (パーマロイ) 層あるいは NiFeX (X は Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Pt から選ばれる 1 種或いは 2 種以上の元素) で形成することにより、フリー磁性層 26 と強磁性層 24 間の層間結合磁界の大きさを適度に小さくしている。

【0155】 図 1 に示された磁気検出素子では、フリー磁性層 26 の単磁区化及び磁化方向の制御を、第 2 反強磁性層 23 と強磁性層 24 間の交換結合磁界の大きさ 30 と、強磁性層 24 とフリー磁性層 26 間の層間結合磁界の大きさの 2 段階で調節することになり、細かな制御を容易に行うことができる。

【0156】 従って、フリー磁性層 26 の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行なうことができるので、磁気検出素子のさらなる狭トラック化を促進することができる。

【0157】 また、フリー磁性層 26 のトラック幅領域 26c の下層に、非磁性層 25 を介して強磁性層 24 及び第 2 反強磁性層 23 が積層される構造でも、フリー磁性層 26 の磁化方向を固定磁性層 28 の磁化方向に交叉する方向に確実に向けて、なおかつフリー磁性層 26 の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることが可能になる。

【0158】 従って、図 1 に示されるような磁気検出素子であれば、フリー磁性層 26 のトラック幅領域 26c の中央部と両端部で、フリー磁性層 26 の磁化方向が異なる状態になりづらい。

【0159】 図 1 の磁気検出素子では、多層膜 A が保護層 30 からフリー磁性層 26 の第 1 磁性層 26a の途中 50

までの両側部が削り込まれてトラック幅寸法 T_w のトラック幅方向寸法を有し、第 1 磁性層 26a の途中から強磁性層 24、第 2 反強磁性層 23、シード層 22、下地層 21 のトラック幅方向寸法はトラック幅寸法 T_w より大きくなっている。

【0160】 図 2 は、本発明における第 2 の実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、図 3 は、本発明における第 3 の実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0161】 図 2 に示す実施形態では図 1 と異なり、フリー磁性層 26 が第 1 磁性層 26a、第 2 磁性層 26b 及び中間磁性層 26d の 3 層構造となっている。このフリー磁性層 26 の構成以外は、図 1 の磁気検出素子と変わるところがない。

【0162】 非磁性層 25 と接する第 1 磁性層 26a は、図 1 で説明したように NiFe あるいは NiFeX (X は Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Pt から選ばれる 1 種或いは 2 種以上の元素) で形成される。あるいは前記フリー磁性層 26 には前記非磁性層 25 と接する側に、NiFe あるいは NiFeX からなる磁性領域が存在している。

【0163】 また非磁性材料層 27 と接する第 2 磁性層 26b は、図 1 で説明したように Co を含んだ磁性材料層である。あるいは前記フリー磁性層 26 には前記非磁性材料層 27 と接する側に、Co を含んだ磁性材料からなる磁性領域が存在している。Co を含んだ磁性材料層には CoFe や CoFeNi、CoFeCr などがあ 30 る。

【0164】 この実施形態では前記第 1 磁性層 26a と第 2 磁性層 26b との間に挟まれた中間磁性層 26d は、例えばフリー磁性層 26 の単位面積あたりの磁気モーメント ($M_s \times t$) を調整するために設けられ、磁気モーメントの観点から前記中間磁性層 26d の材質が決定される。

【0165】 前記中間磁性層 26d の材質は例えば NiFe、NiFeX、Co を含んだ磁性材料層である。一例として第 1 磁性層 26a が $Ni_{0.5} \dots Fe_{0.5}$ 、 $Nb_{0.5} \dots$ であり、中間磁性層 26d が $Ni_{0.5} \dots Fe_{0.5}$ であり、第 2 磁性層 26b が $Co_{0.5} \dots Fe_{0.5}$ である。

【0166】 なお第 1 磁性層 26a と中間磁性層 26d との境界面、および中間磁性層 26d と第 2 磁性層 26b との境界面は熱拡散などにより明確にわからない場合があり、例えば上記した具体例で言えば、フリー磁性層 26 の非磁性層 25 と接する側に、NiFeNb からなる磁性領域が存在し、非磁性材料層 27 と接する側に、CoFe からなる磁性領域が存在し、その間に NiFe からなる磁性領域が存在すれば、前記フリー磁性層

26は元々3層構造で形成されているものと推定することができる。

【0167】なお前記フリー磁性層26は3層よりもさらに多層で構成されていてもよい。図3は、フリー磁性層26が強磁性材料の単層構造である。前記フリー磁性層26は、NiFeあるいはNiFeX（XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素）で形成されることが好ましい。後述する実験結果によれば前記フリー磁性層26がCoFeの単層構造で形成された場合、再生感度 η が低く、またヒステリシスが悪化し、再生特性が前記フリー磁性層26をNiFeやNiFeXで形成する場合に比べて低下することがわかった。

【0168】また図3に示す実施形態では強磁性層24も単層構造である。前記強磁性層24はNiFe、NiFeX（XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素）、CoFe、CoFeCrなどで形成できる。なお第2反強磁性層23との交換結合磁界を大きくするため、単層構造の強磁性層24はCoを含んだ強磁性材料で形成されることが好ましい。

【0169】なお強磁性層24とフリー磁性層26のうち、どちらか一方が単層構造であり、他方が強磁性材料からなる多層構造であってもよい。

【0170】なお図2及び図3において、強磁性層24の単位面積当たりの磁気モーメントに対するフリー磁性層26の単位面積当たりの磁気モーメントの比率等は図1で説明したものと同一である。

【0171】次に、本発明の磁気検出素子の多層膜は、図1に示すフリー磁性層26の第1磁性層26aの途中まで、両側部が削り込まれた多層膜Aのような構成をしていなくてもかまわない。

【0172】図4に、図1の多層膜Aと同じ積層構造を有し、トラック幅寸法の領域の両側部B、Bが削られていない多層膜Cを有する本発明の第4の実施形態の磁気検出素子を、記録媒体との対向面側から見た部分断面図を示す。

【0173】図4の磁気検出素子では、下部シールド層20及び上部シールド層31に、それぞれ多層膜Cと接続される突出部20a及び突出部31aが形成されている。突出部20aと突出部31aの、多層膜Cとの接続部20a1と接続部31a1のトラック幅方向寸法のうち、小さい方でトラック幅寸法Twが決まる。突出部20aと突出部31aの両側部には、アルミナなどからなる絶縁層33または絶縁層34が形成されている。

【0174】しかし、図4に示される磁気検出素子は、固定磁性層28及びフリー磁性層26のトラック幅方向寸法がトラック幅寸法Twより大きい場合トラック幅寸

法Twの領域の両側部B、Bの部分でも外部磁界を検出してしまふ、いわゆるサイドリーディングの割合が大きくなり、磁気的なトラック幅が広がりやすい。

【0175】従って、多層膜Cは、少なくとも保護層30、第1反強磁性層29、固定磁性層28及び非磁性材料層27で両側部B、Bが、一点鎖線L、Lを側端面とするように、削られている方が好ましい。

【0176】ただし、両側部B、Bを強磁性層24及び第2反強磁性層23まで完全に削って除去すると、フリー磁性層26を確実に単磁区化し、磁化方向を固定磁性層28に交叉する方向に向けることが難しくなる。また、両側部B、Bをフリー磁性層26まで完全に除去すると、フリー磁性層26のトラック幅方向の反磁界が大きくなり、フリー磁性層の磁区制御が困難になるので好ましくない。

【0177】従って、図1に示されるように、フリー磁性層26の一部まで多層膜Aの両側部が除去された構造が好ましい形態である。

【0178】図1に示された磁気検出素子のように、多層膜Aの膜面と垂直方向に電流が供給されるCPP（Current Perpendicular to the Plane）型であり、非磁性材料層27、固定磁性層28及び第1反強磁性層29がフリー磁性層26の上層にあるトップ型の磁気検出素子であると、フリー磁性層26の膜厚方向の一部分のみがトラック幅寸法Twのトラック幅方向寸法を有し、残りの部分はトラック幅寸法Twより大きいトラック幅方向寸法を有する構造を形成しやすい。

【0179】フリー磁性層26の一部がトラック幅寸法Twより大きいトラック幅方向寸法を有するものであると、フリー磁性層26の両側端部に生じる表面磁荷に起因するフリー磁性層26内部の反磁界を小さくすることができ、フリー磁性層26内部の磁化方向の乱れを低下させることができる。

【0180】図5は、本発明の第5の実施形態の磁気検出素子を、記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0181】図5の磁気検出素子は、図1の多層膜Aの代わりに、下から順に、下地層21、シード層22、第1反強磁性層29、第1固定磁性層28c、非磁性中間層28b、第2固定磁性層28aからなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層28、非磁性材料層27、第2磁性層26b及び第1磁性層26aからなるフリー磁性層26、非磁性層25、第2強磁性層24b及び第1強磁性層24aからなる強磁性層24、第2反強磁性層23、保護層30が下から順に積層された多層膜Dが形成されている点で図1に示された磁気検出素子と異っている。図5に示される磁気検出素子は、いわゆるボトム型のスピバルブ型磁気検出素子である。

【0182】図5において、図1と同じ符号がつけられ

た層は、同じ材料同じ膜厚で形成されている。

【0183】ただし、図5の磁気検出素子は、図1の磁気検出素子と異なり、第2反強磁性層23が、10Å以上50Å以下の膜厚の中間反強磁性層23aと、1Å以上3Å以下の膜厚の貴金属などからなる非磁性保護層23b及び上部反強磁性層23cからなる多層構造を有するものになることがある。

【0184】中間反強磁性層23aと上部反強磁性層23cは、同じ組成の反強磁性材料、具体的には上述のPtMn合金、X-Mn合金で、あるいはPt-Mn-X'合金を用いて形成される。

【0185】中間反強磁性層23aの膜厚と上部反強磁性層23cの膜厚を合わせた総合膜厚は80Å以上で300Å以下である。例えば150Åである。中間反強磁性層23aは、膜厚が10Å以上50Å以下と薄いため、単独では反強磁性を示さず、中間反強磁性層23aと上部反強磁性層23cが一体となって初めて反強磁性を示すようになり、強磁性層24との間に交換結合磁界を生じさせる。

【0186】また、非磁性保護層23bは1Å以上3Å以下の薄い膜厚であり、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Crのいずれか1種または2種以上で形成されているので、中間反強磁性層23aと上部反強磁性層23cに反強磁性的な相互作用を生じさせ、中間反強磁性層23aと上部反強磁性層23cを一体の反強磁性層として機能させることが可能になる。また、非磁性保護層23bの材料が、中間反強磁性層23aと上部反強磁性層23c中に拡散しても、反強磁性層の性質は劣化しない。

【0187】なお、非磁性保護層23bが存在せず、第2反強磁性層23が中間反強磁性層23aと上部反強磁性層23cからなるものであってもよい。また、第2反強磁性層23が単層の反強磁性層であってもよい。

【0188】多層膜Dの保護層30、第2反強磁性層23、強磁性層24、非磁性層25、フリー磁性層26、非磁性材料層27、第2固定磁性層28aの一部までがトラック幅寸法Twのトラック幅方向寸法を有し、第2固定磁性層28aの途中から、非磁性中間層28b、第1固定磁性層28c、第1反強磁性層29、シード層22、下地層21のトラック幅方向寸法はトラック幅寸法Twより大きくなっている。

【0189】図5に示される磁気検出素子は、保護層30から第2固定磁性層28aの一部までのトラック幅方向（図示X方向）における両側端面Da、Daが、多層膜Dの表面Dbに対して垂直な連続面となっている。ただし、図5の点線Da1、Da1で示されるように、保護層30から第2固定磁性層28aの一部までのトラック幅方向における両側端面が、多層膜Dの表面Dbに対する傾斜面であってもよい。

【0190】なお、図5の磁気検出素子の光学トラック

幅Twは、非磁性材料層27のトラック幅方向寸法で決められる。本実施の形態の磁気検出素子では、光学トラック幅Twを0.1μm以下、特に0.06μm以下にして、200Gbit/in²以上の記録密度に対応することができる。

【0191】図5に示される磁気検出素子でも、強磁性層24の磁化方向が第2反強磁性層23との交換結合磁界により固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向へ向けられている。

【0192】また、フリー磁性層26が、非磁性層25を介して強磁性層24に積層されているため、フリー磁性層26が、強磁性層24との非磁性層25を介した層間結合磁界、この場合はRKKY相互作用によって単磁区化され、磁化方向が固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向へ向けられている。

【0193】このように、強磁性層24との非磁性層25を介した層間結合磁界によって、フリー磁性層26の単磁区化及び磁化方向の制御が行われると、記録媒体からの洩れ磁界などの外部磁界によって、フリー磁性層26にかかる縦バイアス磁界が乱れ、フリー磁性層26の磁区構造が乱されることを抑制できる。

【0194】また、図5に示された磁気検出素子でも、フリー磁性層26の単磁区化及び磁化方向の制御を、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界の大きさと、強磁性層24とフリー磁性層26間の層間結合磁界の大きさの2段階で調節することになり、細かな制御を容易に行うことができる。

【0195】従って、フリー磁性層26の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行なうことができるので、磁気検出素子のさらなる狭トラック化を促進することができる。

【0196】また、フリー磁性層26のトラック幅領域26c上に、非磁性層25を介して強磁性層24及び第2反強磁性層23が積層される構造でも、フリー磁性層26の磁化方向を固定磁性層28の磁化方向に交叉する方向に確実に向けて、なおかつフリー磁性層26の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることが可能になる。

【0197】従って、図5に示されるような磁気検出素子であれば、フリー磁性層26のトラック幅領域26cの中央部と両端部で、フリー磁性層26の磁化方向が異なる状態になりにくい。

【0198】また、図5に示される磁気検出素子では、第1反強磁性層29及び固定磁性層28が、強磁性層24及び第2反強磁性層23より下層にあるため、第1反強磁性層29及び固定磁性層28間に強い交換異方性磁界を発生させた後、強磁性層24及び第2反強磁性層23に交換異方性磁界を発生させる製造方法をとるときに磁化方向の調節をしやすい。

【0199】図6は、本発明の第6の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図であ

る。

【0200】図6に示された磁気検出素子は、図1に示された磁気検出素子と同じくトップ型の磁気検出素子であるが、フリー磁性層38が、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる第1フリー磁性層35と第2フリー磁性層37が非磁性中間層36を介して積層され、第1フリー磁性層35と第2フリー磁性層37の磁化方向が反平行となるフェリ磁性状態である、いわゆるシンセティックフェリフリー型のフリー磁性層である点で図1の磁気検出素子と異なっている。

【0201】図6において、図1と同じ符号がつけられた層は、同じ材料同じ膜厚で形成されているので説明を省略する。

【0202】第1フリー磁性層35は、第1磁性層35a及び第2磁性層35bの2層構造である。なおフリー磁性層35は2層より多層であってもよいし、単層でもよい。

【0203】非磁性層25に接する側の第1磁性層35aは、NiFe（パーマロイ）層あるいはNiFeX（XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素）であり、非磁性中間層36に接する側の第2磁性層35bがCo、CoFe、CoFeNiなどCo（コバルト）を含む強磁性材料からなる層である。

【0204】本実施の形態では、第1磁性層35aの膜厚は40Åであり、第2磁性層35bの膜厚は10Åである。

【0205】非磁性中間層36は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されている。非磁性中間層36をRuによって形成し、フリー磁性層38をシンセティックフェリ状態にするときには、Ruの膜厚を8Å～11Åにすることが好ましい。

【0206】第2フリー磁性層37は、Co、CoFe、CoFeNiなどCo（コバルト）を含む強磁性材料からなる層である。第2フリー磁性層37の膜厚は80Åである。

【0207】第2フリー磁性層37をCo（コバルト）を含む強磁性材料からなる層で形成することにより、非磁性材料層27への第2フリー磁性層37の材料の拡散を防止し、磁気抵抗変化率の低下を防ぐことができる。なお、第1フリー磁性層35の単位面積当りの磁気モーメント（ $M_s \times t$ ）と第2フリー磁性層37の単位面積当りの磁気モーメント（ $M_s \times t$ ）を足し合わせた合成の単位面積当りの磁気モーメント（ $M_s \times t$ ）の方向がフリー磁性層38の磁化方向となる。

【0208】本実施の形態でも、フリー磁性層38のトラック幅領域38aの下層に非磁性層25を介して強磁性層24及び第2反強磁性層23が積層されている。

【0209】なお、本実施の形態では、第1フリー磁性層35の第2磁性層35bと第2フリー磁性層37のうち、少なくとも一層を、以下の組成を有する磁性材料で形成することが好ましい。

【0210】組成式がCoFeNiで示され、Feの組成比は9原子%以上17原子%以下で、Niの組成比は0.5原子%以上10原子%以下で、残りの組成比はCoである磁性材料。

【0211】また、第2フリー磁性層37と非磁性材料層27と間にCoFe合金あるいはCoからなる中間層を形成するときには、第1フリー磁性層35の第2磁性層35bと第2フリー磁性層37のうち少なくとも一層を、以下の組成を有する磁性材料で形成することが好ましい。

【0212】組成式がCoFeNiで示され、Feの組成比は7原子%以上15原子%以下で、Niの組成比は5原子%以上15原子%以下で、残りの組成比はCoである磁性材料。

【0213】さらに、本発明では、第1フリー磁性層35の第2磁性層35bと第2フリー磁性層37の両層を前記組成を有するCoFeNiで形成することが好ましい。

【0214】これにより、第1フリー磁性層35の第2磁性層35bと第2フリー磁性層37間で発生するRKKY相互作用における交換結合磁界を強くすることができる。具体的には、反平行状態が崩れるときの磁界、すなわちスピントロップ磁界（ H_{sf} ）を約293（kA/m）にまで大きくすることができる。

【0215】また上記した組成範囲内であると、第1フリー磁性層35の第2磁性層35bと第2フリー磁性層37の磁歪を -3×10^{-6} から 3×10^{-6} の範囲内に収めることができ、また保磁力を790（A/m）以下に小さくできる。

【0216】図6に示された磁気検出素子でも、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界を大きくして、強磁性層24の磁化方向を固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向に強く固定した上で、第1フリー磁性層35と強磁性層24間の非磁性層25を介した層間結合磁界（RKKY相互作用）の大きさを前記交換結合磁界よりも小さくすることにより、第1フリー磁性層35及び第2フリー磁性層37を単磁区化して磁化方向を固定磁性層28の磁化方向に直交する方向に確実に向け、なおかつフリー磁性層38の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることができるように調節する必要がある。

【0217】第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界を大きくし、第1フリー磁性層35と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを前記交換結合磁界よりも小さくするために、本実施の形態では、強磁性層24の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ（ $M_s \times$

t) を第1フリー磁性層35の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) よりも小さくしている。

【0218】 具体的には、強磁性層24の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) に対する第1フリー磁性層35の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ ($M_s \times t$) の比率 (第1フリー磁性層の $M_s \times t$ / 強磁性層24の $M_s \times t$) を、3以上で20以下の範囲にしている。なお、第1フリー磁性層35の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは、第1磁性層35aの単位面積あたりの磁気モーメントの大きさと、第2磁性層35bの単位面積あたりの磁気モーメントの大きさの和である。

【0219】 また、強磁性層24の、非磁性層25に接する側である第2強磁性層24bをNiFe (パーマロイ) 層あるいはNiFeX (XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素) で形成することにより、第1フリー磁性層35と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを適度に小さくしている。

【0220】 また、第1フリー磁性層35の、非磁性層25に接する側である第1磁性層35aをNiFe (パーマロイ) 層あるいはNiFeX (XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素) で形成することにより、第1フリー磁性層35と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを適度に小さくしている。

【0221】 図6に示された磁気検出素子でも、フリー磁性層38の単磁区化及び磁化方向の制御を、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界の大きさと、強磁性層24と第1フリー磁性層35間の層間結合磁界の大きさの2段階で調節することになり、細かな制御を容易に行うことができる。

【0222】 従って、フリー磁性層38の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行なうことができるので、磁気検出素子のさらなる狭トラック化を促進することができる。

【0223】 また、フリー磁性層38のトラック幅領域38a上に、非磁性層25を介して強磁性層24及び第2反強磁性層23が積層される構造でも、フリー磁性層38の磁化方向を固定磁性層28の磁化方向に交叉する方向に確実に向けて、なおかつフリー磁性層38の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることが可能になる。

【0224】 従って、図6に示されるような磁気検出素子であれば、フリー磁性層38のトラック幅領域38aの中央部と両端部で、フリー磁性層38の磁化方向が異なる状態になりにくい。

【0225】 図6の磁気検出素子では、下地層21、シード層22、第2反強磁性層23、強磁性層24、非磁

性層25、フリー磁性層38、非磁性材料層27、固定磁性層28、第1反強磁性層29、保護層30が下から順に積層された多層膜Eにおいて、保護層30から第2フリー磁性層37までの両側部が削り込まれてトラック幅寸法Twのトラック幅方向寸法を有し、非磁性中間層36から第1フリー磁性層35、強磁性層24、第2反強磁性層23、シード層22、下地層21のトラック幅方向寸法はトラック幅寸法Twより大きくなっている。これにより、磁気検出素子のトラック幅寸法Twの領域の外側で外部磁界を検出するサイドリーディングを低減し、さらに、フリー磁性層38に十分な大きさの縦バイアス磁界 (強磁性層24とフリー磁性層38間の層間結合の磁界) を供給することができる。

【0226】 図6に示される磁気検出素子は、保護層30から非磁性中間層36までのトラック幅方向 (図示X方向) における両側端面Ea, Eaが、多層膜Eの表面Ebに対して垂直な連続面となっている。ただし、図6の点線Ea1、Ea1で示されるように、保護層30から非磁性中間層36までのトラック幅方向における両側端面が、多層膜Eの表面Ebに対する傾斜面であってもよい。

【0227】 なお、図6の磁気検出素子の光学トラック幅Twは、非磁性材料層27のトラック幅方向寸法で決められる。本実施の形態の磁気検出素子では、光学トラック幅Twを0.1 μm 以下、特に0.06 μm 以下にして、200 Gbit/in² 以上の記録密度に対応することができる。

【0228】 図7は、本発明の第7の実施形態の磁気検出素子を、記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0229】 図7の磁気検出素子は、図6の多層膜Eの代わりに、下から順に、下地層21、シード層22、第1反強磁性層29、第1固定磁性層28c、非磁性中間層28b、第2固定磁性層28aからなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層28、非磁性材料層27、第2フリー磁性層37、非磁性中間層36、第1フリー磁性層35からなるシンセティックフェリフリー型のフリー磁性層38、非磁性層25、第2強磁性層24b及び第1強磁性層24aからなる強磁性層24、第2反強磁性層23、保護層30が下から順に積層された多層膜Fが形成されている点で図6に示された磁気検出素子と異っている。図6に示される磁気検出素子は、いわゆるボトム型のスピナルブ型磁気検出素子である。

【0230】 第1フリー磁性層35は、第1磁性層35a及び第2磁性層35bの2層構造である。

【0231】 図7において、図6と同じ符号がつけられた層は、同じ材料及び同じ膜厚で形成されている。

【0232】 ただし、図7の磁気検出素子は、図6の磁気検出素子と異なり、第2反強磁性層23が、10 Å以上50 Å以下の膜厚の中間反強磁性層23aと、1 Å以

上 3 Å 以下の膜厚の貴金属などからなる非磁性保護層 23b 及び上部反強磁性層 23c からなる多層構造を有するものになることがある。

【0233】中間反強磁性層 23a と上部反強磁性層 23c は、同じ組成の反強磁性材料、具体的には上述の Pt-Mn 合金、X-Mn 合金で、あるいは Pt-Mn-X' 合金を用いて形成される。

【0234】中間反強磁性層 23a の膜厚と上部反強磁性層 23c の膜厚を合わせた総合膜厚は 80 Å 以上で 300 Å 以下である。例えば 150 Å である。中間反強磁性層 23a は、膜厚が 10 Å 以上 50 Å 以下と薄いため、単独では反強磁性を示さず、中間反強磁性層 23a と上部反強磁性層 23c が一体となって初めて反強磁性を示すようになり、強磁性層 24 との間に交換結合磁界を生じさせる。

【0235】また、非磁性保護層 23b は 1 Å 以上 3 Å 以下の薄い膜厚であり、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上で形成されているので、中間反強磁性層 23a と上部反強磁性層 23c に反強磁性的な相互作用を生じさせ、中間反強磁性層 23a と上部反強磁性層 23c を一体の反強磁性層として機能させることが可能になる。また、非磁性保護層 23b の材料が、中間反強磁性層 23a と上部反強磁性層 23c 中に拡散しても、反強磁性層の性質は劣化しない。

【0236】なお、非磁性保護層 23b が存在せず、第 2 反強磁性層 23 が中間反強磁性層 23a と上部反強磁性層 23c からなるものであってもよい。また、第 2 反強磁性層 23 が単層の反強磁性層であってもよい。

【0237】図 7 に示された磁気検出素子では、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさが異なる複数の強磁性材料層（第 1 フリー磁性層 35、第 2 フリー磁性層 37）が、センセティブフェリ磁性状態である。

【0238】図 7 の磁気検出素子では、多層膜 F の、保護層 30 から第 2 固定磁性層 28a までの膜厚方向の一部までは、両側部が削り込まれてトラック幅寸法 Tw のトラック幅方向寸法を有し、第 2 固定磁性層の残りの部分から下地層 21 までのトラック幅方向寸法はトラック幅寸法 Tw より大きくなっている。これにより、磁気検出素子のトラック幅 Tw の領域の外側で外部磁界を検出するサイドリーディングを低減することができる。

【0239】図 7 に示される磁気検出素子は、保護層 30 から第 2 固定磁性層 28a までのトラック幅方向（図示 X 方向）における両側端面 Fa、Fa が、多層膜 F の表面 Fb に対して垂直な連続面となっている。ただし、図 7 の点線 Fa1、Fa1 で示されるように、保護層 30 から第 2 固定磁性層 28a までのトラック幅方向における両側端面が、多層膜 F の表面 Fb に対する傾斜面であってよい。

【0240】なお、図 7 の磁気検出素子の光学トラック

幅 Tw は、非磁性材料層 27 のトラック幅方向寸法で決められる。本実施の形態の磁気検出素子では、光学トラック幅 Tw を 0.1 μm 以下、特に 0.06 μm 以下にして、200 Gbit/in² 以上の記録密度に対応することができる。

【0241】図 8 は、本発明の第 8 の実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0242】図 8 に示される磁気検出素子は、非磁性材料層 27 とフリー磁性層 26 の間に半金属強磁性ホイスラー合金層 41 が、固定磁性層 28 と非磁性材料層 27 との間に半金属強磁性ホイスラー合金層 42 が形成されている点でのみ、図 1 に示される磁気検出素子と異なっている。

【0243】図 8 において、図 1 と同じ符号がつけられた層は、同じ材料同じ膜厚で形成されている。

【0244】半金属強磁性ホイスラー合金層 41、42 は、例えば NiMnSb（ニッケルマンガンアンチモン）、PtMnSb（白金マンガンアンチモン）、PdMnSb（パラジウムマンガンアンチモン）、PtMnSn（白金マンガンスズ）、Co₂MnSi、Co₂MnGe、Co₂MnSn、Co₂MnAl または Co₂Mn_{1-x}(Al_xSi_{1-x})（ただし、x=0~1.00）のいずれかの半金属強磁性ホイスラー合金から形成される。

【0245】これらの半金属強磁性ホイスラー合金は、半金属であり、キュリー温度が 200℃ 以上であって室温（25℃）で強磁性を示し、比抵抗が 50 μΩ・cm である。

【0246】CPP 型の磁気検出素子において、図 8 に示されるような半金属強磁性ホイスラー合金層 41 及び 42 を有すると、多層膜 G 内を流れるアップスピン電子とダウンスピン電子の比率を制御でき、磁気抵抗変化量 ΔR を向上させることができるので好ましい。

【0247】また、半金属強磁性ホイスラー合金層 41 はフリー磁性層 26 といっしょに磁化方向が変化するので、半金属強磁性ホイスラー合金層 41 に軟磁気特性が高い NiFe 層が接していると、磁気抵抗変化率をより向上させることができて好ましい。

【0248】図 1 から図 8 に示された磁気検出素子は、多層膜 A、C、D、E、F、G の膜面垂直方向にセンス電流が流される CPP 型の磁気検出素子であった。

【0249】しかし、本発明は固定磁性層、非磁性材料層、及びフリー磁性層を有する多層膜の膜面水平方向にセンス電流が流される、いわゆる CIP（Current in the Plane）型のスピバルブ型磁気検出素子にも適用できる。

【0250】図 9 は、本発明の第 9 の実施の形態として、CIP 型のスピバルブ型磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0251】図9に示される磁気検出素子は、図1の磁気検出素子と同じく多層膜Aを有する。ただし、多層膜Aの上面Abに、トラック幅寸法Twの間隔をあけて、一対の電極層50、50が形成されている点で図1の磁気検出素子と異なっている。従って、図9の磁気検出素子では、センス電流は、多層膜Aの膜面水平方向に流れる。電極層50、50はW、Ta、Cr、Cu、Rh、Ir、Ru、Auなどを材料として用いて形成する。なお符号51は下部ギャップ層、符号52は上部ギャップ層である。

【0252】図9の磁気検出素子もスピバルブ型磁気検出素子であり、固定磁性層28の磁化方向が、適正に図示Y方向に平行な方向に固定され、しかもフリー磁性層の磁化が適正に図示X方向に揃えられており、固定磁性層とフリー磁性層の磁化が直交関係にある。記録媒体からの洩れ磁界が磁気検出素子の図示Y方向に侵入し、フリー磁性層の磁化が感度良く変動し、この磁化方向の変動と、固定磁性層の固定磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0253】ただし、電気抵抗値の変化(出力)に直接寄与するのは第2固定磁性層28aの磁化方向とフリー磁性層26の磁化方向の相対角であり、これらの相対角が検出電流が通電されている状態かつ信号磁界が印加されていない状態で直交していることが好ましい。

【0254】なお、磁気検出素子の記録媒体との対向面に対向する記録媒体は、図示Z方向に移動する。

【0255】図9に示された磁気検出素子でも、フリー磁性層26の単磁区化及び磁化方向の制御を、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界の大きさと、強磁性層24とフリー磁性層26間の層間結合磁界の大きさの2段階で調節することになり、細かな制御を容易に行うことができる。

【0256】従って、フリー磁性層26の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行なうことができるので、磁気検出素子のさらなる狭トラック化を促進することができる。

【0257】また、フリー磁性層26のトラック幅領域26cの下層に、非磁性層25を介して強磁性層24及び第2反強磁性層23が積層される構造でも、フリー磁性層26の磁化方向を固定磁性層28の磁化方向に交叉する方向に確実に向けて、なおかつフリー磁性層26の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることが可能になる。

【0258】従って、図1に示されるような磁気検出素子であれば、フリー磁性層26のトラック幅領域26cの中央部と両端部で、フリー磁性層26の磁化方向が異なる状態になりづらい。

【0259】しかし、CIP型の磁気検出素子で磁気抵抗変化率を向上させるためには、フリー磁性層26の膜

厚が30Å~40Åであることが好ましいが、フリー磁性層26の膜厚をこの範囲にすると、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界を大きくして、強磁性層24の磁化方向を固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向に強く固定し、フリー磁性層26を単磁区化して磁化方向を固定磁性層28の磁化方向に直交する方向に確実に向けた上で、フリー磁性層26の磁化方向を洩れ磁界(外部磁界)によって変動させることができるように調節することが難しくなる。

【0260】また、第2反強磁性層23、強磁性層24、非磁性層25にセンス電流が流れることにより分流損失が発生する。

【0261】従って、本発明はCIP型の磁気検出素子に適用する方がより有効に作用するものである。

【0262】図10は、図1ないし図5、8、9に示された磁気検出素子のフリー磁性層26を上方向からみた平面図である。

【0263】図中の矢印は、磁気検出素子に外部磁界が印加されていない状態における、フリー磁性層26の磁化方向を示している。

【0264】図1ないし図5、8、9に示された磁気検出素子では、強磁性層24の磁化方向が第2反強磁性層23との交換結合磁界によって、固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向に強く固定され、フリー磁性層26が、非磁性層25を介した強磁性層24との層間結合磁界によって単磁区化され、磁化方向が固定磁性層28の磁化方向に交叉する方向に向けられている。

【0265】しかし、フリー磁性層26の磁化方向は、記録媒体からの洩れ磁界(外部磁界)によって変動させることができる程度に調節されている。すなわち、外部磁界が印加されときに、フリー磁性層26の磁化方向が、外部磁界が印加されていないときの磁化方向に対して角度 θ_1 または角度 θ_2 だけ動く。 θ_1 と θ_2 の和は、 12° 以上にできる。 θ_1 と θ_2 の和が 12° 以上であると、再生効率 η (%)を10%以上にすることができる。

【0266】なお、再生効率 η (%)は、 $\eta = \{ (\text{記録媒体からの洩れ磁界による磁気検出素子の最大抵抗変化量}) / (\text{磁気検出素子の最大抵抗変化量の理論値}) \} \times 100$ として定義される。なお、磁気検出素子の最大抵抗変化量の理論値とは、フリー磁性層と固定磁性層の磁化方向が反平行状態のときの抵抗値とフリー磁性層と固定磁性層の磁化方向が平行状態のときの抵抗値の差である。

【0267】なお、フリー磁性層26は第1磁性層26aと第2磁性層26bからなる2層構造であるが、第1磁性層26aと第2磁性層26bの磁化は常に同じ方向を向く。

【0268】また図6、7では、フリー磁性層38は、第1フリー磁性層35と第2フリー磁性層37との積層

フェリ構造であるが、この場合も、これら第1フリー磁性層35及び第2フリー磁性層37の磁化変動を、図10で説明したフリー磁性層26の磁化変動と同じに考えることができる。ただし前記第1フリー磁性層35と第2フリー磁性層37の磁化方向は反平行状態を保っている。

【0269】図11は図1ないし図9とは異なる形態の磁気検出素子である。図11に示す磁気検出素子は記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図1ないし図9のいずれかに付された符号と同じ符号の層は、それらと同じ層を表している。

【0270】図11に示す磁気検出素子は、少なくともフリー磁性層60のトラック幅方向（図示X方向）の両側に非磁性材料層27を介して固定磁性層28が設けられ、前記固定磁性層28の上に第1反強磁性層29が形成されている。電極層50は前記第1反強磁性層29上に設けられている。また前記フリー磁性層60の下側に非磁性層25を介して強磁性層24及び第2反強磁性層23が積層されている。

【0271】図11に示す磁気検出素子では、前記電極層50からの電流は、固定磁性層28、非磁性材料層27及びフリー磁性層60を膜面と平行な方向（図示X方向）に流れるため電流の流れ方向は図9で説明したCIP型の磁気検出素子と同じであるが、図11では前記電流は固定磁性層28－非磁性材料層27－フリー磁性層50の順にあるいはその逆の順に各層を流れるため、この点は図1ないし図8で説明したCPP型の磁気検出素子と同じである。

【0272】図1ないし図8で説明したCPP型の磁気検出素子は、今後の高記録密度化により対応可能な構造としてCIP型の磁気検出素子に変わるものと期待されているが、CPP型の磁気検出素子の欠点は平面での素子サイズをかなり小さくし、且つ総膜厚を厚くしないと出力を稼げないという点である。これに対し図11に示す磁気検出素子のようにフリー磁性層60と固定磁性層28とを非磁性材料層27を介してトラック幅方向（図示X方向）に並べて配置し、前記固定磁性層28上に第1反強磁性層29及び電極層50を積層した構造であると、上記した素子サイズ及び総膜厚はCPP型と逆の関係になる（すなわちCPP型で言う「素子サイズ」は図11では膜厚方向（図示Z方向）と平行な方向のY-Z平面のサイズに該当し、CPP型で言う「総膜厚」とは、図11ではフリー磁性層60のトラック幅方向（図示X方向）の幅寸法に該当する）ため、図11の構造では、CPP型で言う「平面の素子サイズ」を小さくでき、且つCPP型で言う「総膜厚」を厚くできることになり、この結果、再生出力の向上を図ることが可能になっている。またトラック幅Twの狭小化によって抵抗変化率を向上させることができる。

【0273】また図11に示す磁気検出素子では、図1

ないし図9に示す磁気検出素子に比べてフリー磁性層60の上下に形成されるシールド層20、31の間隔、すなわちギャップ長を小さくできるという利点もある。また前記非磁性材料層27は、フリー磁性層60のトラック幅方向の両側端面に形成される膜厚H1が、固定磁性層28とシード層22間に形成される非磁性材料層27の膜厚H2に比べて厚く形成されることが、前記固定磁性層28とシード層22間に形成される非磁性材料層27に電流が分流する量を減らすことができて好ましい。ただし後述のように固定磁性層28下に絶縁層66を設けた場合には、シード層22上の非磁性材料層27に電流の分流ロスは発生しないため、上記の点を考慮する必要性がなくなる。

【0274】ところで図11に示す磁気検出素子の構造の問題点の一つは、フリー磁性層60を如何にして単磁区化し磁化制御するかという点である。

【0275】そこで図11に示す磁気検出素子では、図1ないし図9で説明した非磁性層25、強磁性層24及び第2反強磁性層23の積層構造を採用することとし、すなわちフリー磁性層60の下側に非磁性層25を介して強磁性層24及び第2反強磁性層23を積層したのである。これにより前記フリー磁性層60の単磁区化及び磁化制御を適切に且つ容易に行うことが可能となったのである。

【0276】図11に示す磁気検出素子では、前記フリー磁性層60のトラック幅方向（図示X方向）の少なくとも両側にのみ固定磁性層28が存在していれば良から、第2反強磁性層23、強磁性層24及び非磁性層25の任意の高さ位置まで絶縁層66を埋めて、その上に固定磁性層28を設けてもよい。これによって電流の分流ロスを低減させることができる。

【0277】また図11に示す磁気検出素子では前記フリー磁性層60は、単層構造や磁性層の多層構造、あるいはシンセティックフェリ構造など種々の構造を任意に選択することができるが、図11では複数の磁性層61、63、65を各層間にスペキュラー層（鏡面反射層）62、64を挟んで積層した構造となっている。この構造は図1ないし図9のいずれの磁気検出素子でも採用できる。

【0278】前記スペキュラー層62、64の材質には、Fe-O、Ni-O、Co-O、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al-O、Al-Q-O（ここでQはB、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-O（ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の酸化物、Al-N、Al-Q-N（ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-N（ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）の

窒化物、半金属ホイッスラー合金などを提示できる。

【0279】例えば前記磁性層61、63、65はCoFeなどの磁性材料で形成されるが、これら磁性層61、63、65の表面を既存の方法で酸化させることで、前記表面にスペキュラー層62、64を設けることが可能になる。あるいは前記磁性層間にスペキュラー層62、64をスパッタ法などで成膜してもよい。

【0280】これらスペキュラー層62、64の膜厚は非常に薄く、各磁性層61、62、65はスペキュラー層62、64を介したRKKY的な強磁性結合、前記スペキュラー層62、64に形成されたピンホールなどを介した直接的な強磁性結合、前記スペキュラー層62、64の界面粗さによる静磁結合（トポロジカル・カップリングまたはオレンジ・ピールカップリング）などによって、同じ方向に単磁区化されている。

【0281】各磁性層61、63、65のうち真中に設けられた磁性層63は、その上下の磁性層61、65に比べて膜厚が厚くなっている。前記磁性層63よりも下側の磁性層61は、強磁性層24との間で発生するRKKY交換相互作用によって磁化がトラック幅方向（図示X方向）に固定される可能性があるが、真中の磁性層63は、膜厚が厚いことと、直接、RKKY交換相互作用を受けないなどの理由によって外部磁化に対して磁化変動できる程度に弱く単磁区化された状態にあり、実質的に磁性層63がフリー磁性層63として機能している。なお前記磁性層63よりも上側の磁性層65は有っても無くてもよい。

【0282】なお各磁性層61、63、65にスペキュラー層62、64を設ける利点は、例えばアップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_+ を従来に比べて伸ばすことが可能になり、よって前記アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_+ と、ダウンスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_- との差を大きくすることができ、抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）の向上とともに、再生出力の向上を図ることが可能になるという点である。

【0283】また図11のフリー磁性層60の上側に非磁性層25、強磁性層24及び第2反強磁性層23を設けてもよい。図1に示された磁気検出素子の製造方法を説明する。

【0284】まず、図示しない基板（スライダとなるウェハ）上にアルミナ層（図示せず）を形成した後、下から下部シールド層20、下地層21、シード層22、第2反強磁性層23、第1強磁性層24a及び第2強磁性層24bからなる強磁性層24、非磁性層25、第1磁性層26a及び第2磁性層26bからなるフリー磁性層26、非磁性材料層27、第2固定磁性層28a、非磁性中間層28b、第1固定磁性層28cからなるシンセティックフェリピンド型の固定磁性層28、中間反強磁性層29a、非磁性保護層29bをスパッタ法によって成膜する。

【0285】スパッタ法としては、例えばマグネトロンスパッタ、RF2極スパッタ、RF3極スパッタ、イオンビームスパッタ、対向ターゲット式スパッタ等の既存するスパッタ装置を用いたスパッタ法によって形成することができる。また本発明では、スパッタ法や蒸着法の他に、MBE（モレキュラー・ビーム・エピタキシー）法、ICB（イオン・クラスター・ビーム）法などの成膜プロセスが使用可能である。

【0286】図12において、図1と同じ符号がつけられた層は、同じ材料同じ膜厚で形成されている。

【0287】なお、中間反強磁性層29aは、後に第1反強磁性層29を構成する層であり、第2反強磁性層23と同じ組成の材料で形成される。

【0288】具体的には、中間反強磁性層29aを、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。

【0289】非磁性保護層29bは大気暴露によって酸化されにくい緻密な層である必要がある。本発明では非磁性保護層29bを次の材料を用いて形成する。例えば、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Crのいずれか1種または2種以上からなる材料で形成することが好ましい。

【0290】Ruなどの貴金属などを用いてスパッタ成膜することにより、大気暴露によって酸化されにくい緻密な非磁性保護層29bを得ることができる。したがって非磁性保護層29bの膜厚を薄くしても固定磁性層28が大気暴露によって酸化されることを適切に防止できる。

【0291】本発明では非磁性保護層29bを3Å以上で10Å以下で形成することが好ましい。より好ましくは、3Å以上で8Å以下で形成することである。この程度の薄い膜厚の非磁性保護層29bによっても中間反強磁性層29aが大気暴露によって酸化されるのを適切に防止することが可能である。

【0292】このように薄い膜厚で非磁性保護層29bを形成したことによって図13工程でのイオンミリングを低エネルギーで行うことができミリング制御を従来に比べて向上させることができる。この点については図13工程で詳しく説明する。

【0293】図12に示すように基板上に下部シールド層20から非磁性保護層29bまでの各層を積層した後、第1の磁場中アニールを施す。トラック幅Tw（図示X方向）方向に第1の磁界を印加しつつ、第1の熱処理温度で熱処理し、第2反強磁性層23と強磁性層24との間に交換結合磁界を発生させて、強磁性層24の磁

化を図示X方向、すなわちトラック幅方向に固定する。非磁性層25を介した磁性層24との間で働く層間結合磁界、この場合はRKKY相互作用によって、フリー磁性層26は単磁区化され、磁化方向が図示X方向とは180°反対方向に向けられる。なお、例えば第1の熱温度を270℃とし、磁界の大きさを800k (A/m)とする。なお、第1の磁界の大きさは、強磁性層24とフリー磁性層26の飽和磁界より大きい。

【0294】第2反強磁性層23は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成する。これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造（fcc）であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造（fct）に構造変態する。第2反強磁性層の膜厚は80Å～300Å、例えば150Åである。

【0295】ここで、反強磁性層を形成するための、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記PtMn合金及び前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが47～57at%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、～で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0296】また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが47～57at%の範囲であることがより好ましい。さらに、前記Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'が0.2～10at%の範囲であることが好ましい。ただし、X'がPd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である場合には、X'は0.2～40at%の範囲であることが好ましい。

【0297】これらの合金を使用し、これを第1の磁場中アニールにかけることにより、大きな交換結合磁界を発生する反強磁性層を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380℃と極めて高い優れた第2反強磁性層23を得ることができる。

【0298】なお、固定磁性層28上に積層された中間反強磁性層29aは、膜厚が10Å～50Å、より好ましくは30Å～40Åと薄いため反強磁性を示さないか、または反強磁性を示したとしても非常に弱いため、第1の磁場中アニールでは、第1固定磁性層28cと中

間反強磁性層29aの間に交換結合磁界は発生せず、固定磁性層28の磁化方向は図示X方向に固定されない。

【0299】また上記した第1の磁場中アニールによって、非磁性保護層29bを構成するRuなどの貴金属元素などが、中間反強磁性層29a内部に拡散するものと考えられる。従って熱処理後における中間反強磁性層29aの表面近くの構成元素は、中間反強磁性層29aを構成する元素と貴金属元素などから構成される。また中間反強磁性層29a内部に拡散した貴金属元素などは、中間反強磁性層29aの下面側よりも中間反強磁性層29aの表面側の方が多く、拡散した貴金属元素などの組成比は、中間反強磁性層29aの表面から下面に向うに従って徐々に減るものと考えられる。

【0300】また強磁性層24を構成する第1強磁性層24a及び第2強磁性層24b間、さらにはフリー磁性層26を構成する第1磁性層26aと第2磁性層26b間も組成が熱拡散を起しやすい。

【0301】上記した組成変調は、SIMS分析装置など薄膜の化学組成を分析する装置で確認することが可能である。

【0302】次に、図13に示す工程では、非磁性保護層29bをイオンミリングで削る。非磁性保護層29bは、1Å～3Åの膜厚で残されるかあるいは全て除去される。

【0303】図13に示すイオンミリング工程では、低エネルギーのイオンミリングを使用できる。その理由は、非磁性保護層29bが3Å～10Å程度の非常に薄い膜厚で形成されているからである。

【0304】低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が1000V未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、150V～500Vのビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、200Vの低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。

【0305】これに対し、非磁性保護層29bに例えばTa膜を使用すると、このTa膜自体、大気暴露によって酸化されるので、30Å～50Å程度の厚い膜厚で形成しないと、十分にその下の層を酸化から保護できず、しかもTa膜は酸化によって体積が大きくなり、Ta膜の膜厚は約50Å以上にまで膨れ上がる。

【0306】このような厚い膜厚のTa膜をイオンミリングで除くには、高エネルギーのイオンミリングでTa膜を除去する必要がある、高エネルギーのイオンミリングを使用すると、Ta膜のみが除去されるようにミリング制御することは非常に難しい。

【0307】従って、Ta膜の下に形成されている中間反強磁性層29aも深く削られ、中間反強磁性層29aに、イオンミリング時に使用されるArなどの不活性ガスが露出した中間反強磁性層29aの表面から内部に入り込んだり、中間反強磁性層29aの表面部分の結晶構

造が壊れ、格子欠陥が発生 (Mixing 効果) する。これらのダメージによって中間反強磁性層 29a の磁気特性が劣化しやすい。また、約 50 Å 以上の膜厚を有する Ta 膜を低エネルギーのイオンミリングで削ると処理時間がかかりすぎて実用的でなくなる。また、Ta は前記貴金属などに比べると、成膜時に中間反強磁性層 29a に拡散浸入しやすく、Ta 膜のみを削って除去できたとしても、露出した中間反強磁性層 29a 表面には、Ta が混入する。Ta が混入した中間反強磁性層 29a は、反強磁性特性が劣化する。

【0308】一方、本発明では、低エネルギーのイオンミリングによって非磁性保護層 29b を削ることができる。低エネルギーのイオンミリングはミリングレートが遅く、ミリング止め位置のマージンを狭くすることが可能になる。特に、非磁性保護層 29b をイオンミリングで除去した瞬間にミリングを止めることも可能になる。従って、中間反強磁性層 29a はイオンミリングによって大きなダメージを受けなくなる。なお、図 13 工程におけるイオンミリングの入射角度は、非磁性保護層 29b 表面に対する法線方向から 30° ~ 70° にすることが好ましい。また、イオンミリングの処理時間は 1 分程である。

【0309】ただし、非磁性保護層 29b を完全に除去すると、中間反強磁性層 29a の表面がイオンミリングによって損傷し、反強磁性が低下することがあるので、非磁性保護層 29b を 1 Å ~ 3 Å の膜厚で残す方が好ましい。

【0310】次に図 14 工程を施す。図 14 工程では、中間反強磁性層 29a、或いは非磁性保護層 29b が完全に除去されないときには残された非磁性保護層 29b 上に、上部反強磁性層 29c を真空中で成膜し、さらに、保護層 30 を真空中で連続成膜する。成膜には上述したスパッタや蒸着法を使用できる。下地層 21 から保護層 30 までの各層が多層膜 A を構成する。

【0311】上部反強磁性層 29c に使用される材質は、中間反強磁性層 29a に使用される反強磁性材料と同じ組成の反強磁性材料、具体的には上述の PtMn 合金、X-Mn 合金で、あるいは Pt-Mn-X' 合金を用いて形成されることが好ましい。

【0312】図 14 では、中間反強磁性層 29a、残存している非磁性保護層 29b、及び上部反強磁性層 29c が一体となって第 1 反強磁性層 29 を構成している。非磁性保護層 29b が完全に除去される場合には、中間反強磁性層 29a と上部反強磁性層 29c が一体となって第 1 反強磁性層 29 を構成する。

【0313】中間反強磁性層 29a の膜厚と上部反強磁性層 29c の膜厚を合わせた総合膜厚は 80 Å 以上で 500 Å 以下である。例えば 150 Å である。上述したように、中間反強磁性層 29a は、膜厚が 10 Å 以上で 50 Å 以下と薄いため、単独では反強磁性を示さず、中間

反強磁性層 29a と上部反強磁性層 29c が一体となって初めて反強磁性を示すようになり、固定磁性層 28 との間に交換結合磁界を生じさせる。

【0314】また、非磁性保護層 29b が残存している場合でも、残存している非磁性保護層 29b の膜厚は 1 Å 以上で 3 Å 以下と薄く、また、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上で形成されているので、中間反強磁性層 29a と上部反強磁性層 29c に反強磁性的な相互作用を生じさせ、中間反強磁性層 29a、非磁性保護層 29b、上部反強磁性層 29c が一体の反強磁性層 29 として機能することが可能になる。また、非磁性保護層 29b の材料が、中間反強磁性層 29a と上部反強磁性層 29c 中に拡散しても、反強磁性は劣化しない。

【0315】次に第 2 の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向に垂直な方向 (図示 Y 方向)、すなわち記録媒体からの洩れ磁界方向である。なおこの第 2 の磁場中アニールは、第 2 の印加磁界を、第 2 反強磁性層 23 と強磁性層 24 間の交換異方性磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、第 2 反強磁性層 23 のブロック温度よりも低くする。これによって第 2 反強磁性層 23 と強磁性層 24 間の交換異方性磁界の方向をトラック幅方向に向けたまま、第 1 反強磁性層 29 と固定磁性層 28 間の交換異方性磁界を記録媒体からの洩れ磁界方向 (図示 Y 方向) に向けることができる。従って、固定磁性層 28 の磁化方向は強磁性層 24 及びフリー磁性層 26 の磁化方向と交叉する方向に固定される。

【0316】なお第 2 の磁場中アニールの熱処理温度は例えば 250℃ であり、磁界の大きさは 8 ~ 30 (kA/m)、例えば 24 (kA/m) である。第 2 の印加磁界の大きさは、第 2 固定磁性層 28a 及び第 1 固定磁性層 28c の保磁力より大きく、第 2 固定磁性層 28a と第 1 固定磁性層 28c の間のスピントロニック磁界より小さい。

【0317】このため上記の第 2 の磁場中アニールによって、第 1 反強磁性層 29 は適切に規則化変態し、第 1 反強磁性層 29 と固定磁性層 28 との間に適切な大きさの交換結合磁界が発生する。

【0318】本実施の形態のように、多層膜 A を 2 段階に分けて成膜し、2 回の磁場中アニールを施す製造方法を用いると第 1 反強磁性層 29 及び第 2 反強磁性層 23 を、同一の組成を有する反強磁性材料を用いて形成することができる。

【0319】次に図 15 に示す工程では多層膜 A の保護層 30 の上面にレジスト層を形成し、このレジスト層を露光現像することによって、図 15 に示す形状のレジスト層 R を保護層 30 上に残す。レジスト層 R は例えばリフトオフ用のアンダーカット形状を有するレジスト層であり、トラック幅寸法 Tw に等しいトラック幅方向の幅

寸法を有している。

【0320】次に、レジスト層Rに覆われていない多層膜Aの両側部B、Bを、多層膜Aの表面Abに対する垂直方向からのイオンミリングによって、図16に示されるように保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの一部まで削る。

【0321】図16工程のイオンミリングの結果、多層膜Aの保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの途中までがトラック幅寸法Twのトラック幅方向寸法を有し、第1磁性層26aの途中から強磁性層24、第2反強磁性層23、シード層22、下地層21のトラック幅方向寸法はトラック幅寸法Twより大きくなる。

【0322】また、多層膜Aの、保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの一部までのトラック幅方向（図示X方向）における両側端面Aa、Aaが、多層膜Aの表面Abに対して垂直な連続面となっている。ただし、図16の点線Aa1、Aa1で示されるように、保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの一部までのトラック幅方向における両側端面が、多層膜Aの表面Abに対する傾斜面であってもよい。

【0323】イオンミリング工程終了後、保護層30からフリー磁性層26の第1磁性層26aの途中までのトラック幅方向両側部にAl₂O₃やSiO₂からなる絶縁層32、32を形成する。なお絶縁層32、32を構成する絶縁材料の層は、レジスト層Rの上面や側面にも付着する。絶縁層32、32を形成した後、レジスト層Rを有機溶剤などを用いたリフトオフで除去する。

【0324】さらに、図17工程で、絶縁層32、32及び多層膜Aの保護層30上に、上部電極層を兼用する上部シールド層31を形成する。こうして、図1に示される磁気検出素子が得られる。

【0325】本発明では、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界を大きくして、強磁性層24の磁化方向を固定磁性層28の磁化方向と交叉する方向に強く固定した上で、フリー磁性層26と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを前記交換結合磁界よりも小さくすることにより、フリー磁性層26を単磁区化して磁化方向を固定磁性層28の磁化方向に直交する方向に確実に向け、なおかつフリー磁性層26の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることができるように調節する必要がある。

【0326】第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界を大きくし、フリー磁性層26と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを交換結合磁界よりも小さくするために、図12工程で、強磁性層24の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ(Ms×t)がフリー磁性層26の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ(Ms×t)よりも小さくなるように、強磁性層24とフリー磁性層26を成膜する。

【0327】具体的には、強磁性層24の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ(Ms×t)に対するフリー磁性層26の単位面積あたりの磁気モーメントの大きさ(Ms×t)の比率（フリー磁性層のMs×t/強磁性層24のMs×t）を、3以上で20以下の範囲にしている。

【0328】また、強磁性層24の、非磁性層25に接する側である第2強磁性層24bをNiFe（パーマロイ）層あるいはNiFeX（XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素）で形成することにより、フリー磁性層26と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを適度に小さくしている。

【0329】また、フリー磁性層26の、非磁性層25に接する側である第1磁性層26aをNiFe（パーマロイ）層あるいはNiFeX（XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素）で形成することにより、フリー磁性層26と強磁性層24間の層間結合磁界の大きさを適度に小さくしている。

【0330】上述した製造方法によれば、第2反強磁性層23と強磁性層24間の交換結合磁界の大きさと、強磁性層24とフリー磁性層26間の層間結合磁界の大きさの2段階で調節することになり、フリー磁性層26の単磁区化及び磁化方向の細かな制御を容易に行うことができる。

【0331】従って、フリー磁性層26の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行なうことができるので、磁気検出素子のさらなる狭トラック化を促進することができる。

【0332】また、フリー磁性層26のトラック幅領域26cの下層に、非磁性層25を介して強磁性層24及び第2反強磁性層23が積層される構造でも、フリー磁性層26の磁化方向を固定磁性層28の磁化方向に交叉する方向に確実に向けて、なおかつフリー磁性層26の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることが可能になる。従って、フリー磁性層26のトラック幅領域26cの中央部と両端部で、フリー磁性層26の磁化方向が異なる状態になりにくい。

【0333】また、非磁性層25、強磁性層24、及び第2反強磁性層23といった、フリー磁性層26に縦バイアス磁界を与えるための層を、図12工程でベタ膜状に形成し、図15及び図16工程で、多層膜Aの両側部B、Bを削るだけで良いので、製造工程が簡単になる。また、トラック幅寸法Twの精度が良くなるので、狭トラック化が容易になる。

【0334】図4ないし図9に示された磁気検出素子も、上述した製造方法と同様の製造方法を用いて形成す

ることができる。また図11の磁気検出素子は、まず先に第2反強磁性層23、強磁性層24、非磁性層25及びフリー磁性層60を成膜した後、フリー磁性層60の磁化制御のための磁場中アニールを施し、前記第2反強磁性層23から前記フリー磁性層60までの各層を図11のように略台形状に加工した後、その両側に非磁性材料層27及び固定磁性層28を成膜し、さらに前記固定磁性層28上に第1反強磁性層29及び電極層50を成膜した後、固定磁性層28の磁化制御のための磁場中アニールを施して形成される。

【0335】また本発明では、磁気検出素子の非磁性材料層27を Al_2O_3 や SiO_2 などの絶縁材料で形成することにより、トンネル型磁気抵抗効果型素子と呼ばれる磁気検出素子とすることもできる。

【0336】なお本発明における磁気検出素子は、ハードディスク装置に搭載される薄膜磁気ヘッドにのみ使用可能なものではなく、テープ用磁気ヘッドや磁気センサなどにも使用可能なものである。

【0337】以上本発明をその好ましい実施例に関して述べたが、本発明の範囲から逸脱しない範囲で様々な変更を加えることができる。

【0338】なお、上述した実施例はあくまでも例示で*

*あり、本発明の特許請求の範囲を限定するものではない。

【0339】

【実施例】本実施例では、図5のようにフリー磁性層26が固定磁性層28よりも上側に形成された磁気検出素子を用い、前記フリー磁性層26の膜構成及び強磁性層24の膜構成を種々変化させ、そのときのフリー磁性層26及び強磁性層24に使用される好ましい材質、及び強磁性層24の単位面積当たりの磁気モーメント($M_s \times t$)に対するフリー磁性層26の単位面積当たりの磁気モーメント($M_s \times t$)の比率(フリー磁性層26の $M_s \times t$ /強磁性層24の $M_s \times t$)等について調べた。

【0340】まず、以下に示す表1では、フリー磁性層26を構成する材質および層構造を変化させたときの、強磁性層24の単位面積当たりの磁気モーメント($M_s \times t$)に対するフリー磁性層26の単位面積当たりの磁気モーメント($M_s \times t$)の比率(フリー磁性層26の $M_s \times t$ /強磁性層24の $M_s \times t$)と、再生感度 η 及びヒステリシスとの関係を示す表である。

【0341】

【表1】

	強磁性層 24		フリー磁性層 26			磁性モーターの比率	η (%)	ヒステリシス (%)
	第1磁性層 10Å 固定	第2磁性層 10Å 固定	フリー①	フリー② トータル 120Å 固定	フリー③			
実施例 1	Co ₈₀ Fe ₁₂ Cr ₈	Ni ₈₀ Fe ₂₀	Ni ₈₀ Fe ₂₀ (20Å)	Co ₉₀ Fe ₁₀ (100Å)		11.4	22	1.6
実施例 2	↑	↑	Ni ₈₅ Fe ₁₀ Nb ₅ (20Å)	Co ₉₀ Fe ₁₀ (100Å)		10.8	32	0.9
実施例 3	↑	↑	Ni ₉₀ Fe ₂₀ (100Å)	Co ₉₀ Fe ₁₀ (20Å)		7.8	24	1.2
実施例 4	↑	↑	Ni ₈₅ Fe ₁₀ Nb ₅ (100Å)	↑		5.6	19	0.8
実施例 5	↑	↑	Ni ₈₅ Fe ₁₀ Nb ₅ (20Å)	Ni ₈₀ Fe ₂₀ (80Å)	Co ₉₀ Fe ₁₀ (20Å)	7.9	28	0.5
実施例 6	↑	↑	↑	Ni ₈₀ Fe ₂₀ (120)		7.0	21	0.9
実施例 7	↑	↑	↑	Ni ₈₅ Fe ₁₀ Nb ₅ (120)		4.2	18	0.6
比較例 1	↑	↑	Co ₉₀ Fe ₁₀ (20Å)	Ni ₈₀ Fe ₂₀ (80Å)	Co ₉₀ Fe ₁₀ (20Å)	8.8	8	3.4
比較例 2	↑	↑	Co ₉₀ Fe ₁₀ (20Å)	Ni ₈₅ Fe ₁₀ Nb ₅ (80Å)	↑	6.8	7	3.1
比較例 3	↑	↑	↑	Co ₉₀ Fe ₁₀ (120)		12.8	9	6.5
比較例 4	↑	Co ₉₀ Fe ₁₀	Co ₉₀ Fe ₁₀ (20Å)	Ni ₈₀ Fe ₂₀ (80Å)	Co ₉₀ Fe ₁₀ (20Å)	4.4	6	3.2
比較例 5	↑	↑	Co ₉₀ Fe ₁₀ (20Å)	Ni ₈₅ Fe ₁₀ Nb ₅ (80Å)	↑	3.4	4	3.1
比較例 6	↑	↑	↑	Co ₉₀ Fe ₁₀ (120)		6.3	7	5.5

【0342】表1に示すように実施例1ないし7および比較例1ないし3では、強磁性層24の第1強磁性層24aを10ÅのCo₈₀Fe₁₂Cr₈で形成し、第2強磁性層24bを10ÅのNi₈₀Fe₂₀

で形成している。また比較例4ないし6では、強磁性層24を20ÅのCo₉₀Fe₁₀で形成している。

【0343】表1に示す「フリー磁性層26」欄では、

前記フリー磁性層 26 を「フリー①」、「フリー②」、「フリー③」の 3 つに分けている。ここでフリー①とは、図 1 に示す非磁性層 25 と接する側の層を表し、フリー③とは、図 1 に示す非磁性材料層 27 と接する側の層を表す。「フリー②」は、「フリー①」と「フリー③」との中間層を表すが、例えば実施例 1 では、フリー②とフリー③が合体した単一層であり、したがって実施例 1 のフリー磁性層 26 は 2 層構造である。このような見方は、表 1 における他の実施例、比較例、および表 2 以降についても同じである。また表 1 のフリー磁性層 26 の各材質に記載された括弧書きは膜厚である。

【0344】表 1 では、フリー磁性層 26 を構成する層数、材質及びフリー磁性層 26 を構成する各層の膜厚を変化させ、そのときの強磁性層 24 の単位面積当たりの磁気モーメント ($M_s \times t$) に対するフリー磁性層 26 の単位面積当たりの磁気モーメント ($M_s \times t$) の比率、再生感度 η 、およびヒステリシスを求めた。なおフリー磁性層 26 の膜厚はトータルで 120 Å となるように設定している。

【0345】また再生感度 η は、(記録媒体からの漏れ磁界を ± 400 e と想定した印加磁界に対する抵抗変化量 / ± 5 kOe の印加磁界範囲内で得られる最大抵抗変化量) $\times 100$ で求めた。

【0346】またヒステリシスは、(ヒステリシスループの原点で残るヒステリシス抵抗変化量 / ± 400 e の印加磁界における抵抗変化量) $\times 100$ で求めた。

【0347】なお 10 e (エルステッド) は約 79 A/m である。また上記した再生感度 η 及びヒステリシスの求め方は表 2 以降でも同じである。

*

* 【0348】表 1 に示すように、実施例 1 ないし 7 は、比較例 1 ないし 6 よりも高い再生感度 η を有し、且つヒステリシスも小さい値となっており、再生特性が良好であることがわかった。

【0349】次に、以下の表 2 では、強磁性層 24 を構成する第 1 強磁性層 24 a 及び第 2 強磁性層 24 b の材質を変化させ、そのときの強磁性層 24 の単位面積当たりの磁気モーメント ($M_s \times t$) に対するフリー磁性層 26 の単位面積当たりの磁気モーメント ($M_s \times t$) の比率、再生感度 η 、およびヒステリシスを求めた。なお前記第 1 強磁性層 24 a 及び第 2 強磁性層 24 b は共に 10 Å の膜厚に固定している。

【0350】またフリー磁性層 26 は、実施例 2、および実施例 8 ないし 13 では、2 層構造とし、第 1 磁性層 26 a (すなわち表 2 におけるフリー①のみ) を膜厚 20 Å の $Ni_{0.5} \dots Fe_{0.5} \dots Nb_{0.5} \dots$ で形成した。また第 2 磁性層 26 b (すなわち表 2 におけるフリー②及び③) を膜厚 100 Å の $Co_{0.5} \dots Fe_{0.5} \dots$ で形成した。なお実施例 14、15 では、3 層構造とし、第 1 磁性層 26 a (すなわち表 2 におけるフリー①のみ) を膜厚 20 Å の $Ni_{0.5} \dots Fe_{0.5} \dots Nb_{0.5} \dots$ で形成した。また第 2 磁性層 26 b (すなわち表 2 におけるフリー③) を膜厚 20 Å の $Co_{0.5} \dots Fe_{0.5} \dots$ で形成した。さらに中間磁性層 (すなわち表 2 におけるフリー②) を膜厚 80 Å の $Ni_{0.5} \dots Fe_{0.5} \dots$ で形成した。

【0351】

【表 2】

	強磁性層 24		フリー磁性層 26			磁性モーターの比率	η (%)	ヒステリシス (%)
	第1磁性層 10Å 固定	第2磁性層 10Å 固定	フリー①	フリー② トータル 120Å 固定	フリー③			
実施例 2	$\text{Co}_{80}\text{Fe}_{12}\text{Cr}_8$	$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$	$\text{Ni}_{85}\text{Fe}_{10}\text{Nb}_5$ (20Å)	$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (100Å)		10.8	32	0.9
実施例 8	$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$					6.8	26	1.4
実施例 9	$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{12}\text{Cr}_8$	$\text{Ni}_{85}\text{Fe}_{10}\text{Nb}_5$				14.4	38	1.2
実施例 10	$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$					7.7	27	1.3
実施例 11	$\text{Co}_{80}\text{Fe}_{12}\text{Cr}_8$					13.6	20	1.1
実施例 12	$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$					5.6	12	0.8
実施例 13	$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$					8.9	22	2.3
実施例 14	$\text{Co}_{80}\text{Fe}_{12}\text{Cr}_8$	$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$	$\text{Ni}_{85}\text{Fe}_{10}\text{Nb}_5$ (20Å)	$\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (80Å)	$\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (20Å)	7.9	28	0.5
実施例 15		$\text{Ni}_{85}\text{Fe}_{10}\text{Nb}_5$				10.3	37	1.2

【0352】表2に示した全ての実施例は、表1に示した実施例と同様に、高い再生感度 η を有し且つヒステリシスが小さい値であり再生特性に優れていることがわかった。

【0353】次に以下に示す表3では、強磁性層24及びフリー磁性層26を構成する各層の材質を固定し、前記フリー磁性層26を構成する第2磁性層26b（すなわち表3のフリー②及び③）の膜厚を徐々に変化させ

た。以下の表 3 に示すように強磁性層 24 を構成する第 1 強磁性層 24a を膜厚が 10 Å の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}\text{Cr}_{10}$ で形成した。また強磁性層 24 を構成する第 2 強磁性層 24b を膜厚が 10 Å の $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}$ で形成した。さらにフリー磁性層 26 を構成する第 1 磁性層 26a (すなわち表 3 に*

* 示すフリー①のみ) を膜厚が 20 Å の $\text{Ni}_{50}\text{Fe}_{50}\text{Nb}_{10}$ で形成した。またフリー磁性層 26 を構成する第 2 磁性層 26b を $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ で形成した。

【0354】

【表 3】

	強磁性層 24		フリー磁性層 26			磁性モーターの比率	η (%)	ヒステリシス (%)
	第1磁性層 10Å固定	第2磁性層 10Å固定	フリー① Ni ₄₅ Fe ₁₅ Nb ₅ 固定	フリー② Co ₈₀ Fe ₂₀ 固定	フリー③			
実施例 16	Co ₈₀ Fe ₁₂ Cr ₈	Ni ₄₀ Fe ₂₀	20Å	20Å		3.1	12	0.2
実施例 17	↑	↑	↑	40		5.0	15	0.4
実施例 18	↑	↑	↑	60		6.7	21	0.4
実施例 19	↑	↑	↑	80		9.0	27	0.8
実施例 2	↑	↑	↑	100		10.8	32	0.9
実施例 20	↑	↑	↑	120		12.7	37	1.2
実施例 21	↑	↑	↑	140		14.4	39	1.8
実施例 22	↑	↑	↑	160		16.5	43	2.4
実施例 23	↑	↑	↑	180		18.2	47	2.8
比較例 7	↑	↑	↑	5		1.1	2	0.1
比較例 8	↑	↑	↑	10		1.5	4	0.1
比較例 9	↑	↑	↑	15		2.4	9	0.1
比較例 10	↑	↑	↑	200		21.6	57	3.7
比較例 11	↑	↑	↑	300		31.5	62	5.2

【0355】次に以下に示す表4では、強磁性層24及びフリー磁性層26を構成する各層の材質を固定し、前記強磁性層24を構成する第2強磁性層24bの膜厚を徐々に変化させた。以下の表4に示すように強磁性層24を構成する第1強磁性層24aを膜厚が10ÅのCo

...Fe...Cr...で形成した。また強磁性層24を構成する第2強磁性層24bをNi...Fe...で形成した。さらにフリー磁性層26を構成する第1磁性層26a（すなわち表3に示すフリー①のみ）を膜厚が20ÅのNi...Fe...

e i . . . * N b s . . . * で形成した。またフリー磁性層 26 を構成する第 2 磁性層 26 b を膜厚が 100 Å の C o . . . * F e i . . . * で形成した。 *

* 【0356】
【表4】

	強磁性層 24		フリー磁性層 26			磁性モーメントの比率	η (%)	ヒステリシス (%)
	第 1 磁性層 C o ₉₀ F e ₁₂ C r ₈ 固定	第 2 磁性層 N i ₈₀ F e ₂₀ 固定	フリー① 20Å 固定	フリー② 100Å 固定	フリー③			
実施例 24	10Å	2	N i ₈₅ F e ₁₀ N b ₅ (20Å)	C o ₉₀ F e ₁₀ (100Å)		19.2	46	2.8
実施例 25	↑	4	↑	↑		16.6	43	2.5
実施例 26	↑	6	↑	↑		14.2	38	2.2
実施例 27	↑	10	↑	↑		10.5	35	1.4
実施例 2	↑	20	↑	↑		10.8	32	0.9
実施例 28	↑	30	↑	↑		4.4	21	0.8
実施例 29	↑	40	↑	↑		3.4	14	0.7
比較例 12	↑	0	↑	↑		26.7	59	4.4
比較例 13	↑	1	↑	↑		24.5	53	3.4
比較例 14	↑	50	↑	↑		2.9	8	0.5
比較例 15	↑	60	↑	↑		2.6	7	0.5

【0357】 まず表 3 及び表 4 から、強磁性層 24 の単位面積当たりの磁気モーメント (M s × t) に対するフ リー磁性層 26 の単位面積当たりの磁気モーメント (M s × t) の比率 (以下、単に磁気モーメントの比率と呼

ぶ)を求めた。

【0358】表3及び表4に示す各実施例での磁気モーメントの比率は、3以上で20以下の範囲内であることがわかる。

【0359】磁気モーメントの比率は大きければ大きいほど、外部磁界に対しフリー磁性層が敏感に動きやすくなるから好ましいが、大きすぎると今度は、ヒステリシスが大きくなり、エラーレートが高くなり再生特性の低下を余儀なくされる。

【0360】例えば表3に示す比較例10や11を見てみると、これら実施例では磁気モーメントの比率が大きく、このため再生感度 η も50%を越えていることがわかる。しかし逆にヒステリシスは3%を越え、表3に示す実施例に比べてヒステリシスが悪化していることがわかった。

【0361】このように、磁気モーメントの比率は再生感度 η 及びヒステリシスの両側面から求める必要がある。表3及び表4に示す実施例を見てみると、全て磁気モーメントの比率が3以上で20以下である。そして再生感度 η は10%以上で50%以下である。さらにヒステリシスは3%以下である。

【0362】このように磁気モーメントの比率を3以上で20以下にすることにより、再生感度 η を10%以上で50%以下にでき、且つヒステリシスを3%以下にすることができ良好な再生特性を得られることがわかった。

【0363】次に、フリー磁性層26及び強磁性層24の好ましい材質や層構造を表1及び表2から検討する。

【0364】例えば表1に示す比較例1ないし6はすべて磁気モーメントの比率が、3以上で20以下の範囲内である。この磁気モーメントの比率が本発明の好ましい範囲内にあるにも関わらず、再生感度 η が10%以下で且つヒステリシスが3%よりも高いのは、フリー磁性層26の第1磁性層26aをCoFeで形成しているからであると考えられる。

【0365】フリー磁性層26の第1磁性層26aは、前記強磁性層24の第2強磁性層24bとの間で層間結合を生じる。この層間結合は強すぎてはいけない。なぜなら強すぎるとフリー磁性層26が外部磁界に対し磁化反転しにくくなり、すなわち再生感度 η の低下を余儀なくされるからである。

【0366】ところが表1のようにフリー磁性層26の第1磁性層26aにCoFeを用いると、強磁性層24の第2強磁性層24bとの層間結合が強まると考えられる。このため磁気モーメントの比率は好ましい範囲内であるにも関わらず、再生感度 η が低下し、さらにヒステリシスも大きくなってしまったものと考えられる。

【0367】このことから、まずフリー磁性層26を構成する第1磁性層26aにはCo系の強磁性材料を使用しない方が好ましいことがわかる。表1ないし表4に示

す実施例を見ると、全てフリー磁性層26の第1磁性層26aに使用されている材質はNiFe系の合金である。このため本発明では前記フリー磁性層26の第1磁性層26aにNiFe合金あるいはNiFeX合金(XはAl, Si, Ti, V, Cr, Mn, Cu, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Hf, Ta, W, Ir, Ptから選ばれる1種或いは2種以上の元素)を使用することが好ましいとした。

【0368】次にフリー磁性層26の層数についてであるが、例えば表1の実施例6や実施例7のように前記フリー磁性層26を1層で形成してもよいし、あるいは実施例1ないし4のように前記フリー磁性層26を2層で形成してもよいし、さらには実施例5のように前記フリー磁性層26を3層構造で形成してもよい。

【0369】ただし、フリー磁性層26は1層よりも2層以上で形成された方が好ましい。前記フリー磁性層26が実施例6や実施例7のようにNiFe系の単層で形成されると、図1に示す非磁性材料層27へNiなどが拡散しやすくなり、磁気抵抗変化率の低下を招きやすいからである。このため、好ましいフリー磁性層26の層構造としては、図1に示す非磁性層25と接する側にNiFeあるいはNiFeXからなる磁性領域が存在し、前記非磁性材料層27に接する側にCo(コバルト)を含む強磁性材料からなる磁性領域が存在することである。

【0370】次に強磁性層24の材質についてであるが、フリー磁性層26との層間結合をあまり強くしないようにするためには、前記強磁性層24の第2強磁性層24bをNiFe系の合金で形成することが好ましい。表1ないし表4に示す殆どの実施例がそのような構造になっている。ただし実施例11や実施例12のように強磁性層24全体をCoFe系の強磁性材料で形成しても、磁気モーメントの比率は3以上で20以下にあり、また再生感度 η 及びヒステリシスも好ましい範囲内にある。

【0371】強磁性層24は、特に図1に示す第2反強磁性層23との間で大きな交換結合磁界を発生させて、磁化が強固に一定方向に固定されていなければならない。そのため強磁性層24に対し好ましい材質の選択としては、第2反強磁性層23と接する側にCoを含む強磁性材料からなる磁性領域が存在するようにすることである。

【0372】また前記強磁性層の層数としては、表2に示す実施例11ないし13のように1層構造でもよいし、2層構造であってもよい。あるいは3層構造以上であってもよい。

【0373】ただし前記強磁性層24は少なくとも2層構造であることが好ましいと考えられる。その理由は、第2反強磁性層23との間で大きな交換結合磁界を発生させるために、第2反強磁性層23と接する側にCoを

含む強磁性材料からなる磁性領域を形成し、一方、フリー磁性層 26 との層間結合を適度に弱めるために非磁性層 25 と接する側に NiFe あるいは NiFeX からなる磁性領域を形成した方がより再生特性に優れた磁気検出素子を製造できるからである。

【0374】

【発明の効果】以上詳細に説明した本発明によれば、前記第 2 反強磁性層との交換結合磁界により前記強磁性層の磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられており、前記フリー磁性層が前記非磁性層を介して前記強磁性層に積層されているため、前記フリー磁性層の単磁区化及び磁化方向の制御は、前記反強磁性層と前記強磁性層間の交換結合磁界の大きさと、前記強磁性層と前記フリー磁性層間の磁氣的結合の大きさの 2 段階で調節されることになり、細かな制御を容易に行うことができる。

【0375】従って、本発明では、前記フリー磁性層の単磁区化及び磁化方向の制御を適切かつ容易に行なうことができるので、磁気検出素子のさらなる狭トラック化を促進することができる。

【0376】また本発明では、前記フリー磁性層のトラック幅領域上に、前記非磁性層を介して前記強磁性層及び前記第 2 反強磁性層が積層される構造でも、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向に確実に向けて、なおかつ前記フリー磁性層の磁化方向を洩れ磁界によって変動させることが可能になる。

【0377】また、本発明では、前記フリー磁性層は、前記強磁性層との前記非磁性層を介した層間結合磁界によって単磁区化され、磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられることができる。

【0378】例えば、前記フリー磁性層と前記強磁性層との間には、前記非磁性層を介した RKKY 相互作用が発生する。その結果、前記フリー磁性層が単磁区化し、その磁化方向が前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向へ向けられる。

【0379】このように、本発明では、前記強磁性層との前記非磁性層を介した層間結合磁界によって、前記フリー磁性層の単磁区化及び磁化方向の制御が行われるので、記録媒体からの洩れ磁界などの外部磁界によって、前記フリー磁性層にかかる縦バイアス磁界が乱れ、前記フリー磁性層の磁区構造が乱されることを抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図 2】本発明の第 2 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図 3】本発明の第 3 の実施の形態の磁気検出素子の断*

* 面図、

【図 4】本発明の第 4 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図 5】本発明の第 5 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図 6】本発明の第 6 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図 7】本発明の第 7 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

10 【図 8】本発明の第 8 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図 9】本発明の第 9 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図 10】本発明の磁気検出素子のフリー磁性層の平面図、

【図 11】本発明の第 10 の実施の形態の磁気検出素子の断面図、

【図 12】本発明の磁気検出素子の製造方法の実施の形態を示す一工程図、

20 【図 13】本発明の磁気検出素子の製造方法の実施の形態を示す一工程図、

【図 14】本発明の磁気検出素子の製造方法の実施の形態を示す一工程図、

【図 15】本発明の磁気検出素子の製造方法の実施の形態を示す一工程図、

【図 16】本発明の磁気検出素子の製造方法の実施の形態を示す一工程図、

【図 17】本発明の磁気検出素子の製造方法の実施の形態を示す一工程図、

30 【図 18】従来の磁気検出素子の断面図、

【図 19】従来の磁気検出素子の製造方法を示す一工程図、

【図 20】従来の磁気検出素子の断面図、

【符号の説明】

20 下部シールド層

21 下地層

22 シード層

23 第 2 反強磁性層

24 強磁性層

40 25 非磁性層

26、60 フリー磁性層

27 非磁性材料層

28 固定磁性層

29 第 1 反強磁性層

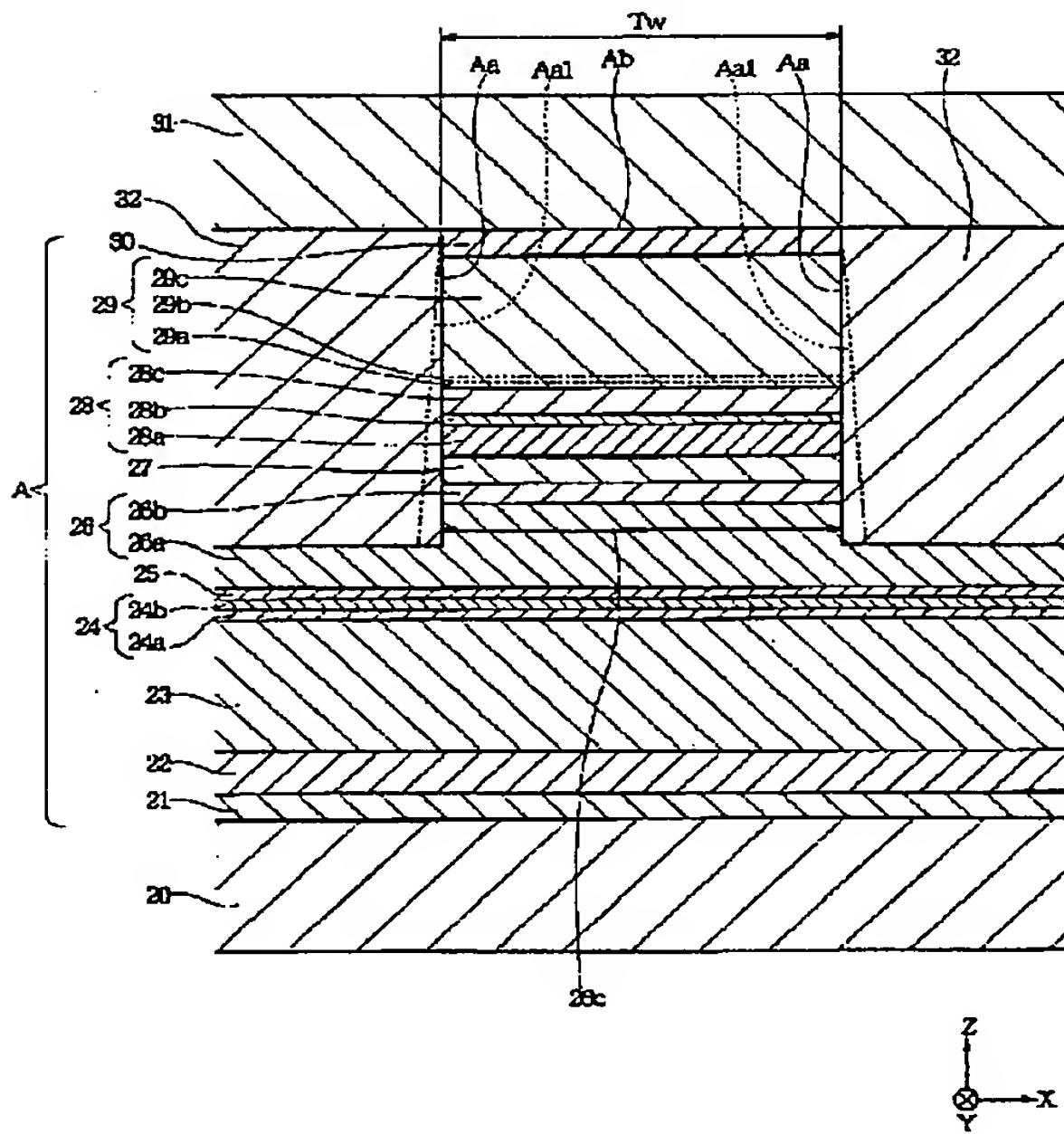
30 保護層

31 上部シールド層

32 絶縁層

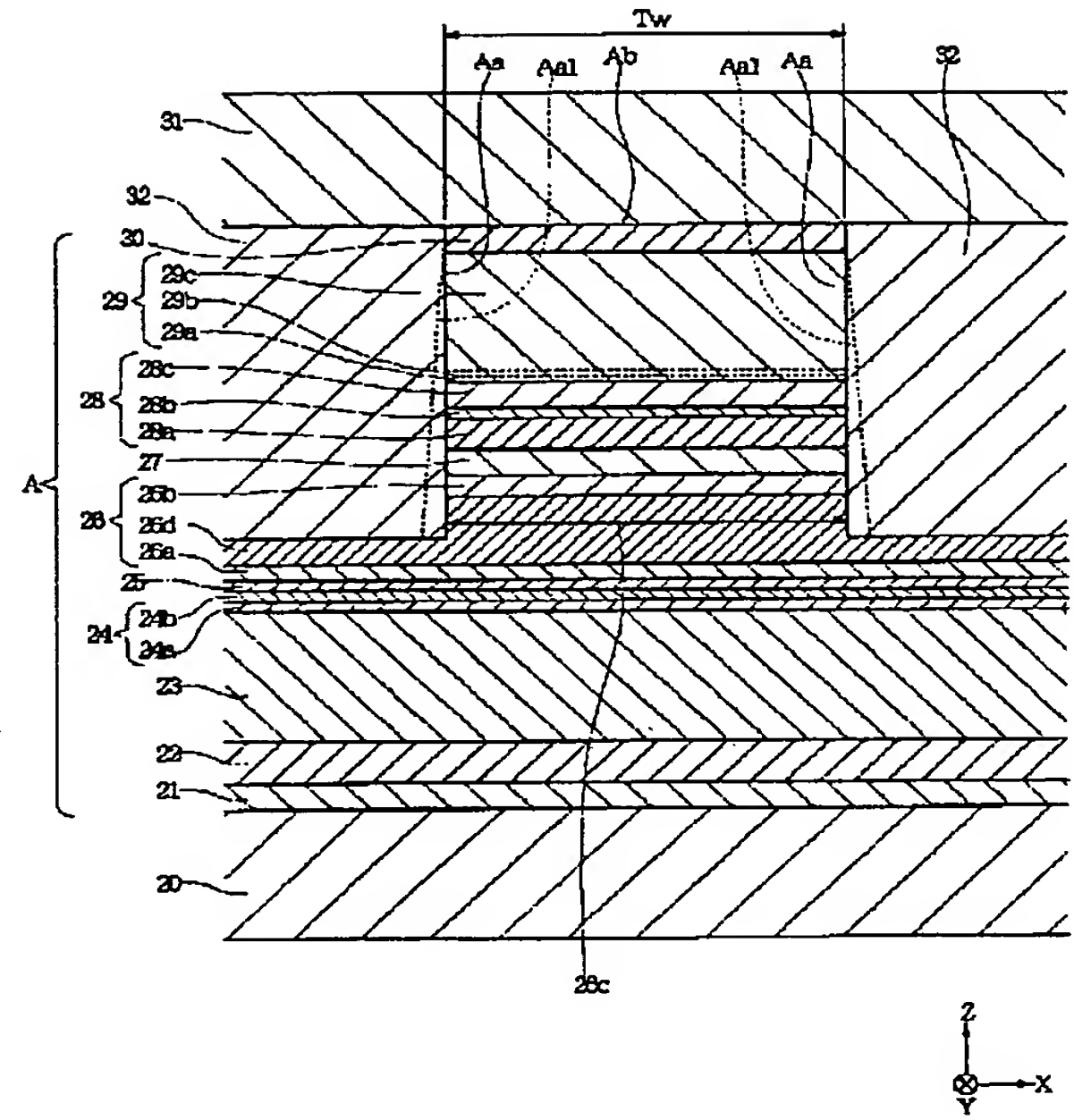
【図 1】

図 1



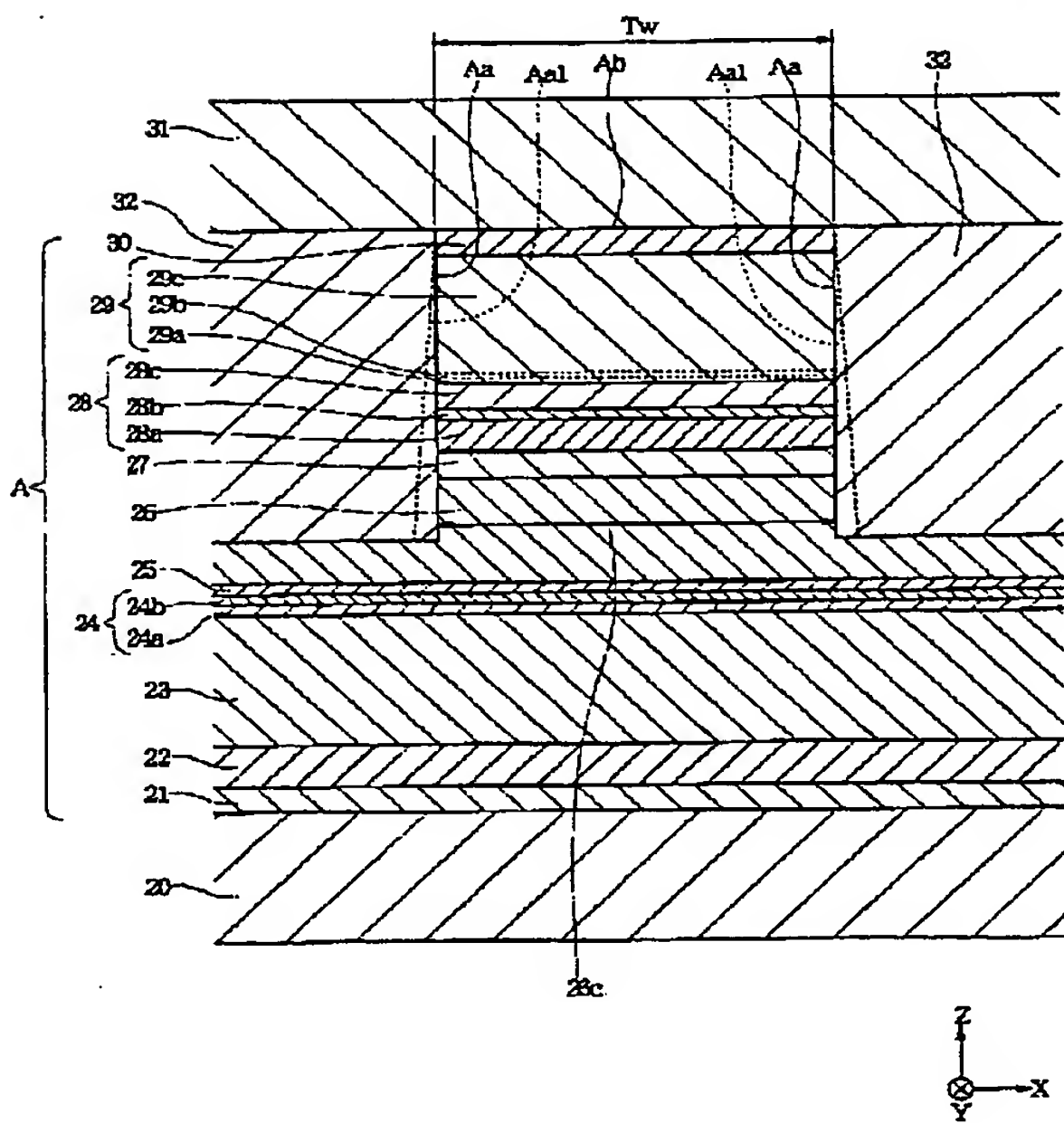
【図 2】

図 2



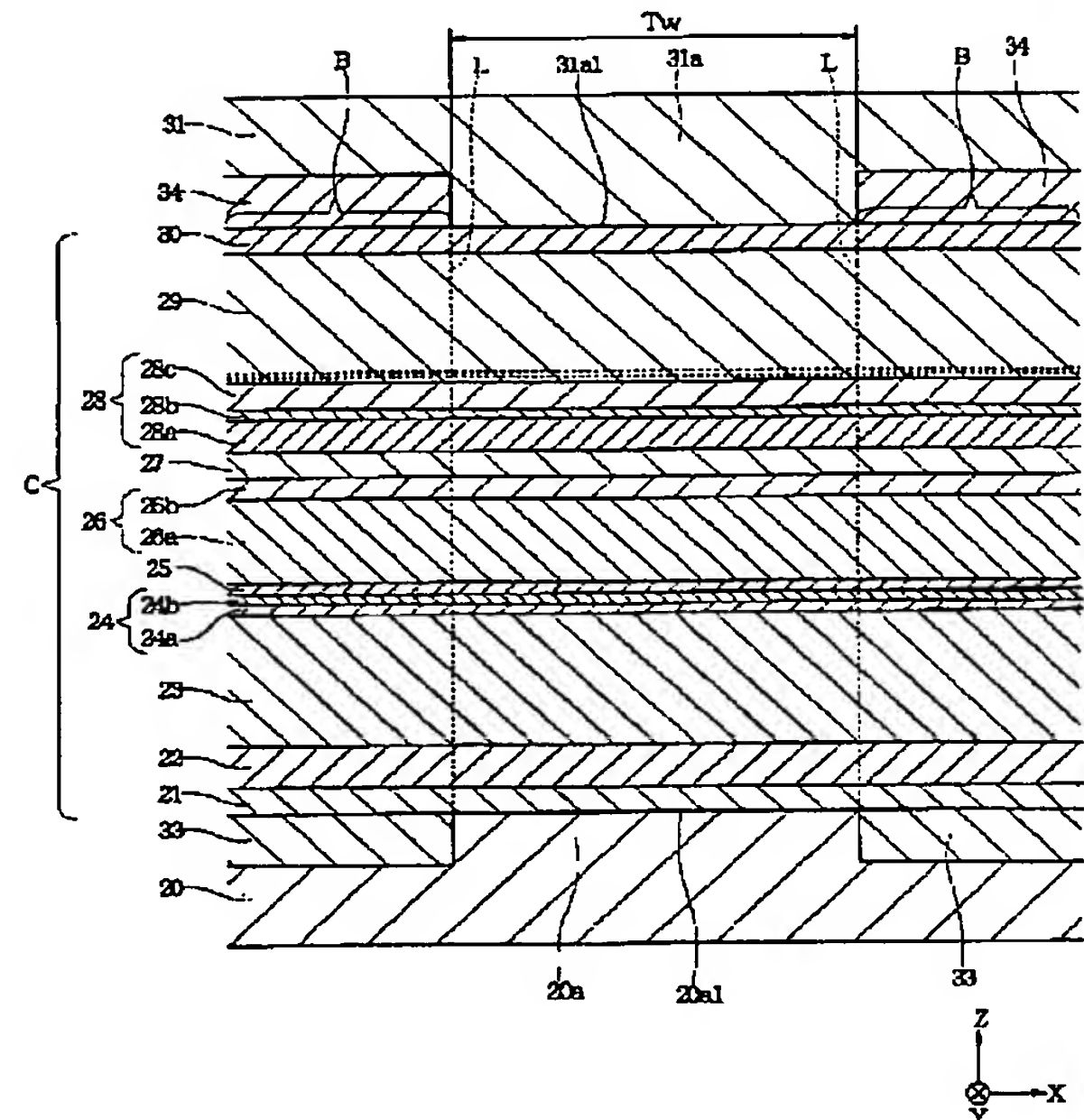
【図 3】

図 3



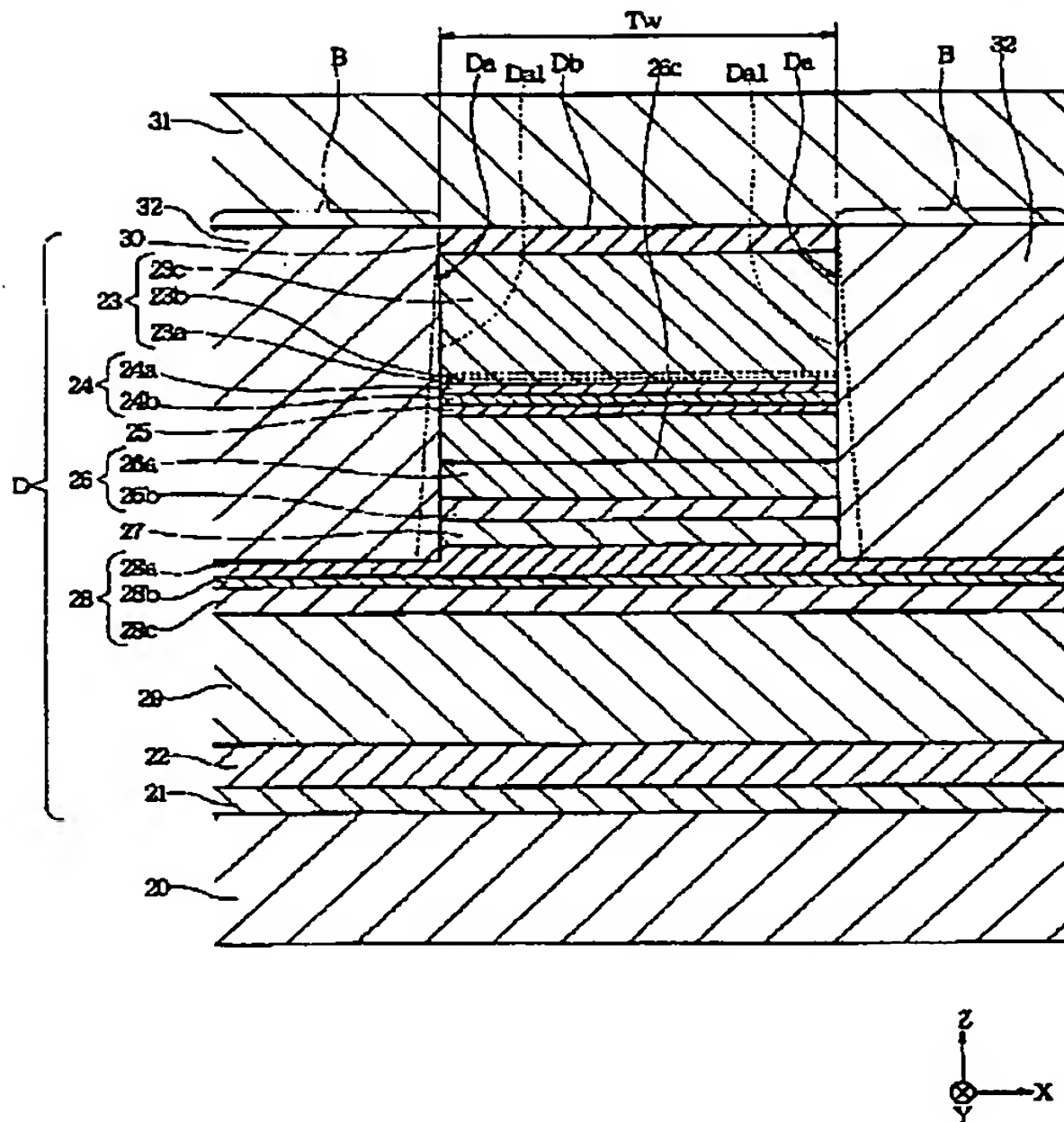
【図 4】

図 4



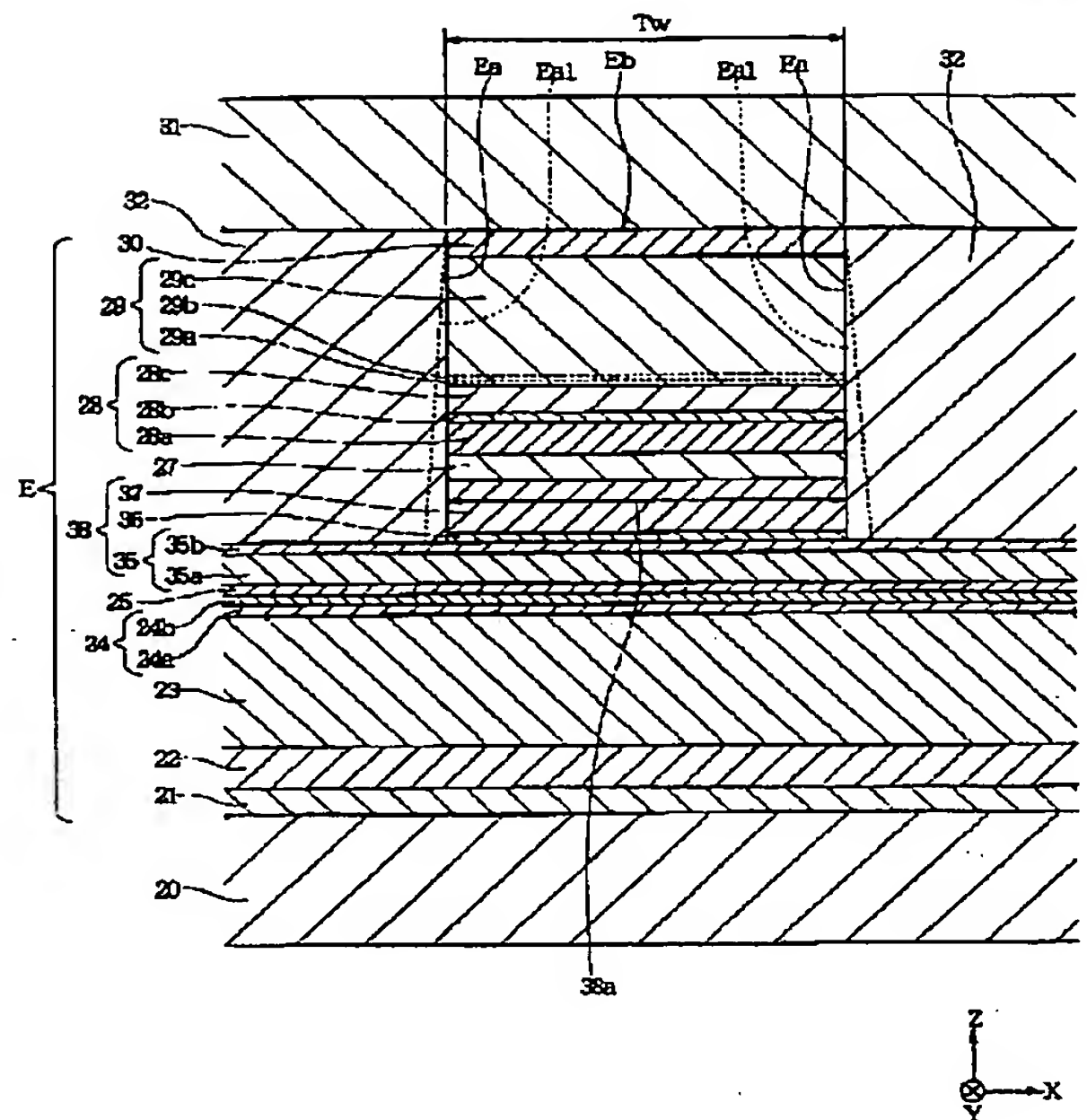
【図 5】

図 5



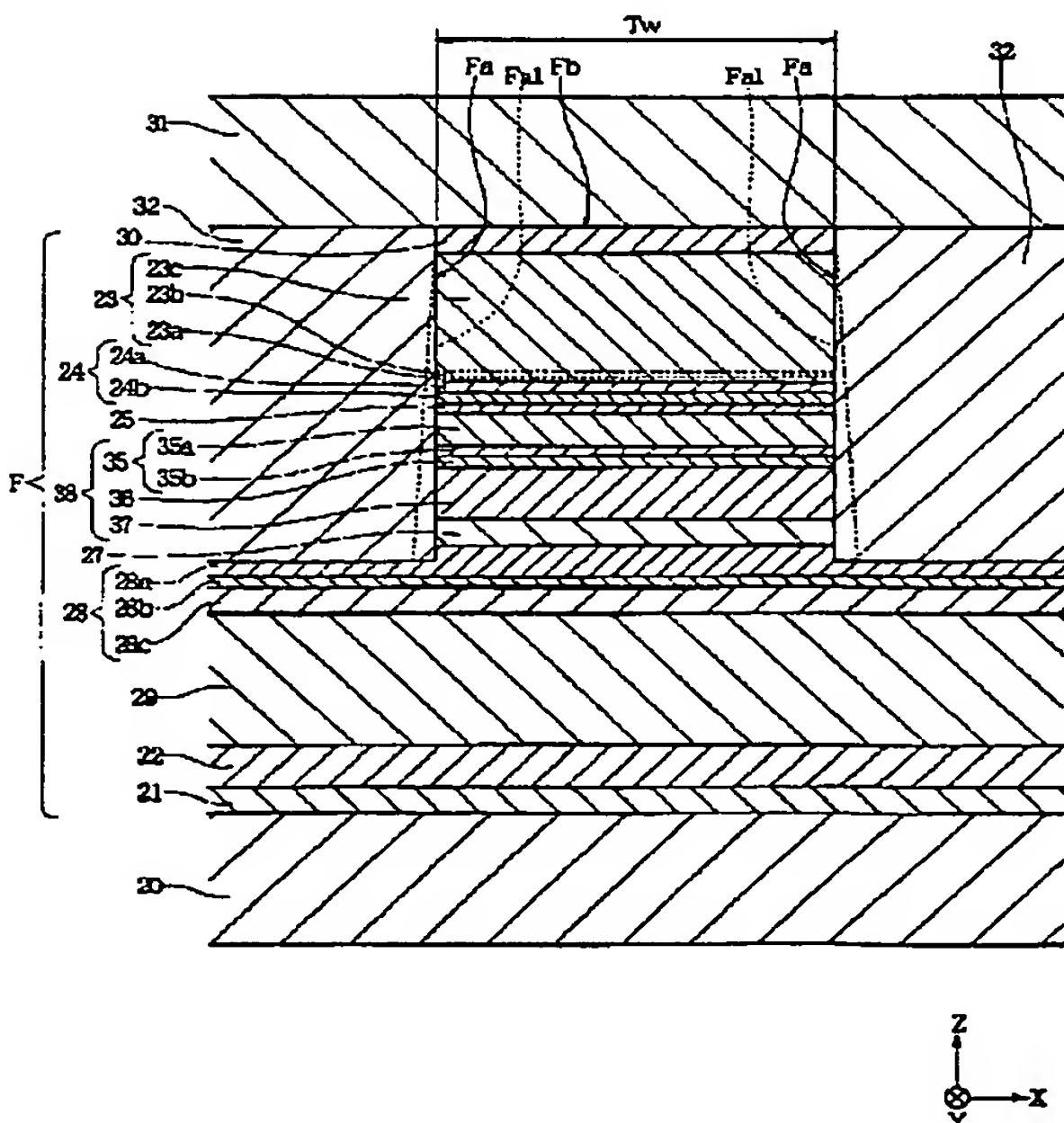
【図 6】

図 6



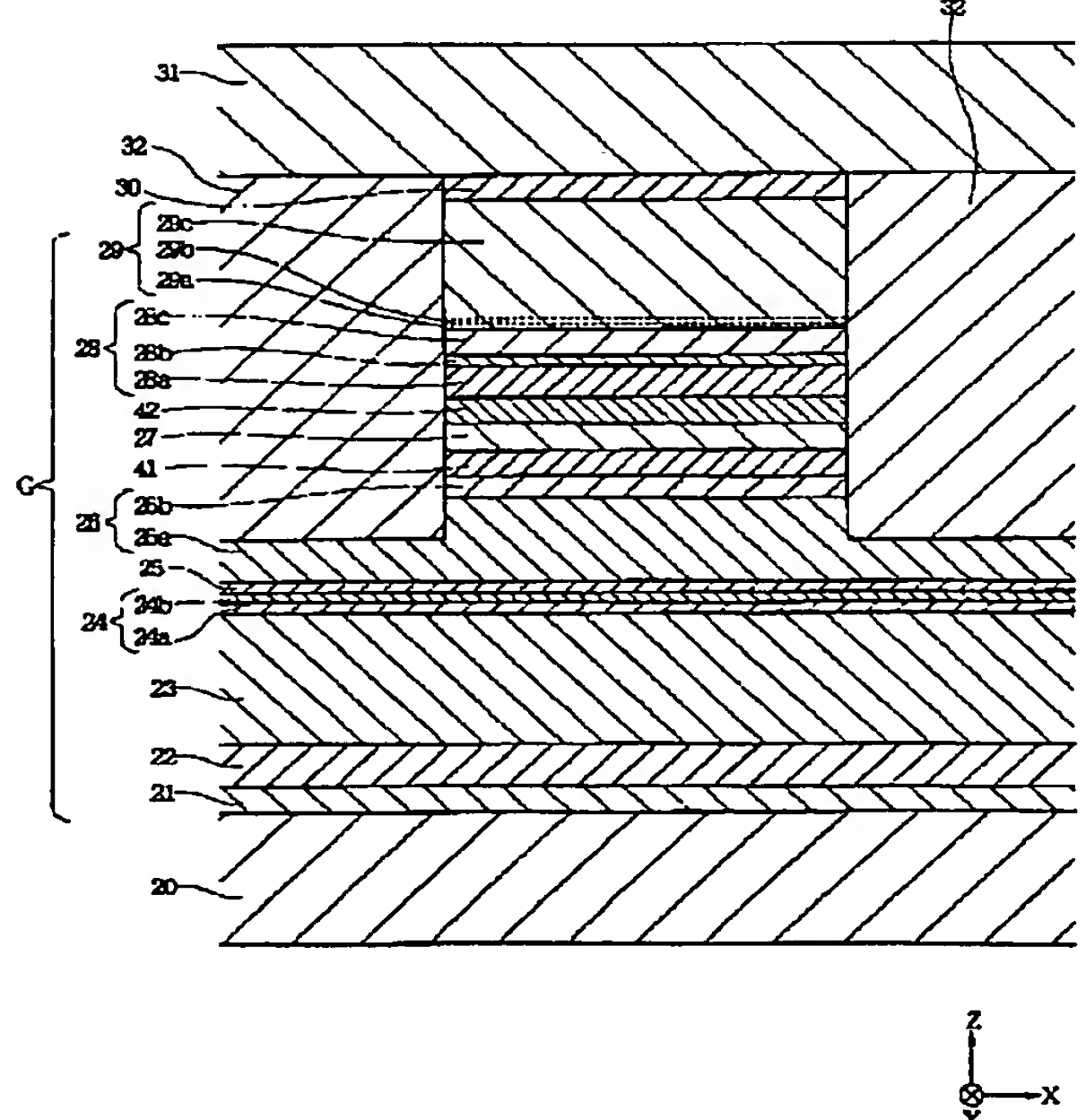
【図 7】

図 7



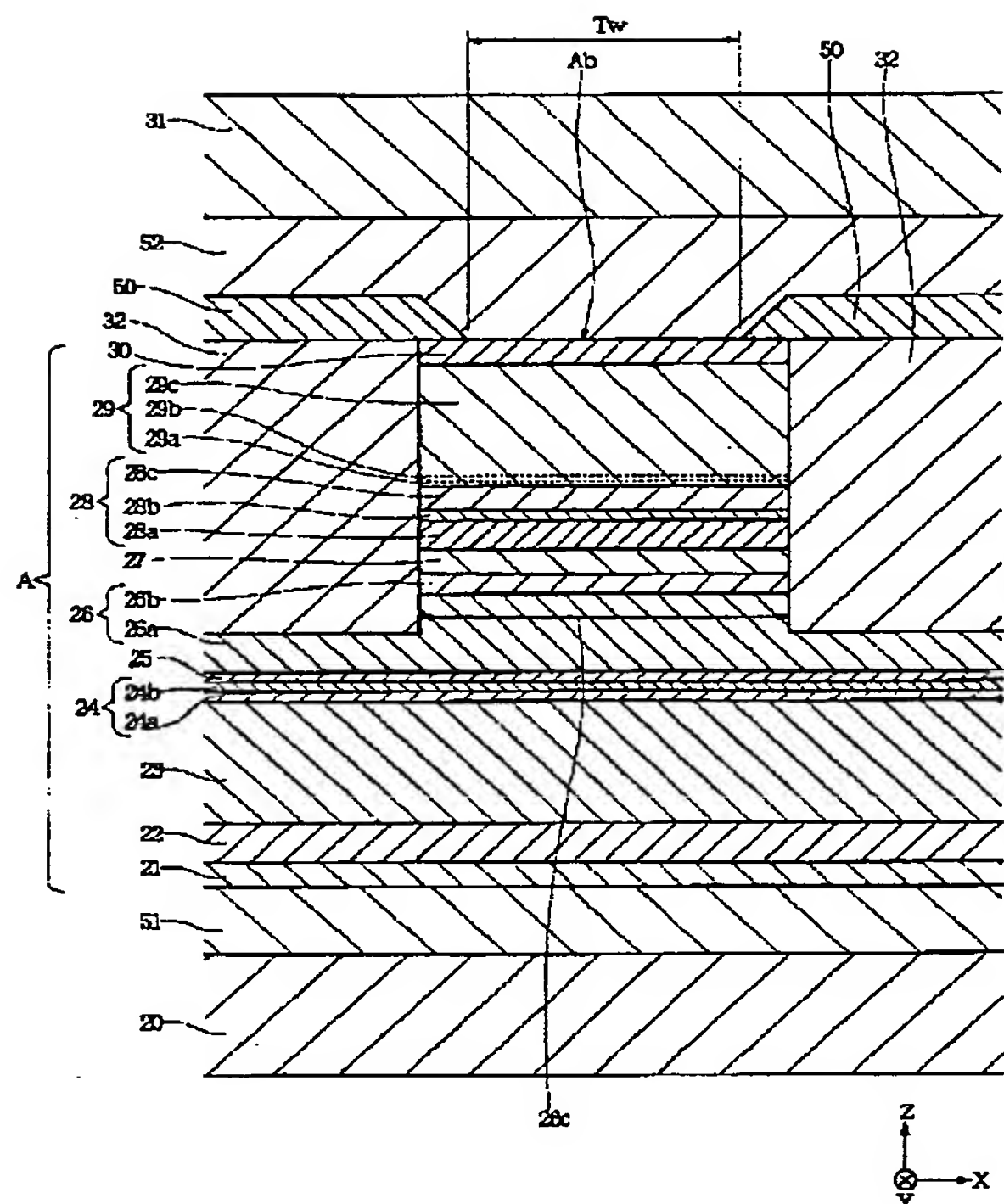
【図 8】

図 8



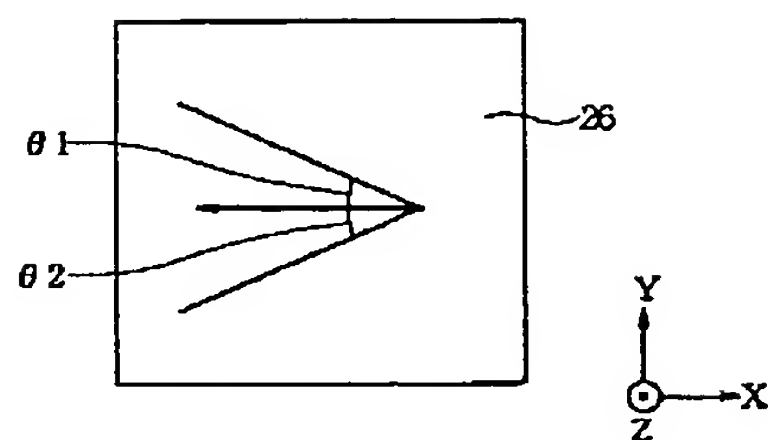
【図 9】

図 9



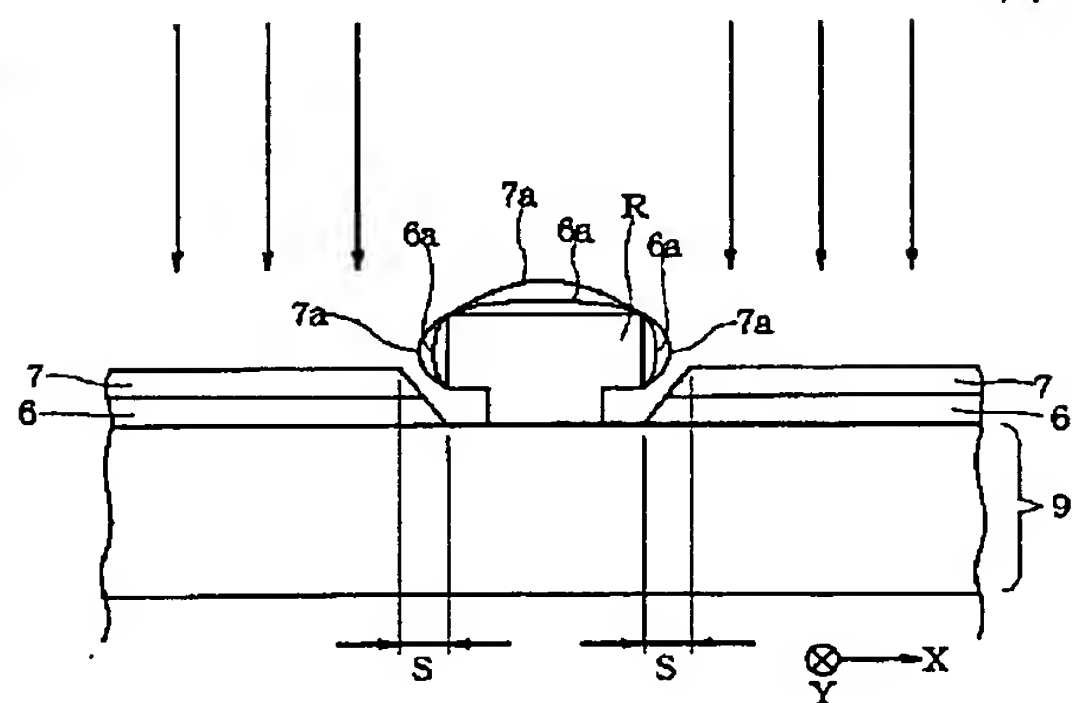
【図 10】

図 10



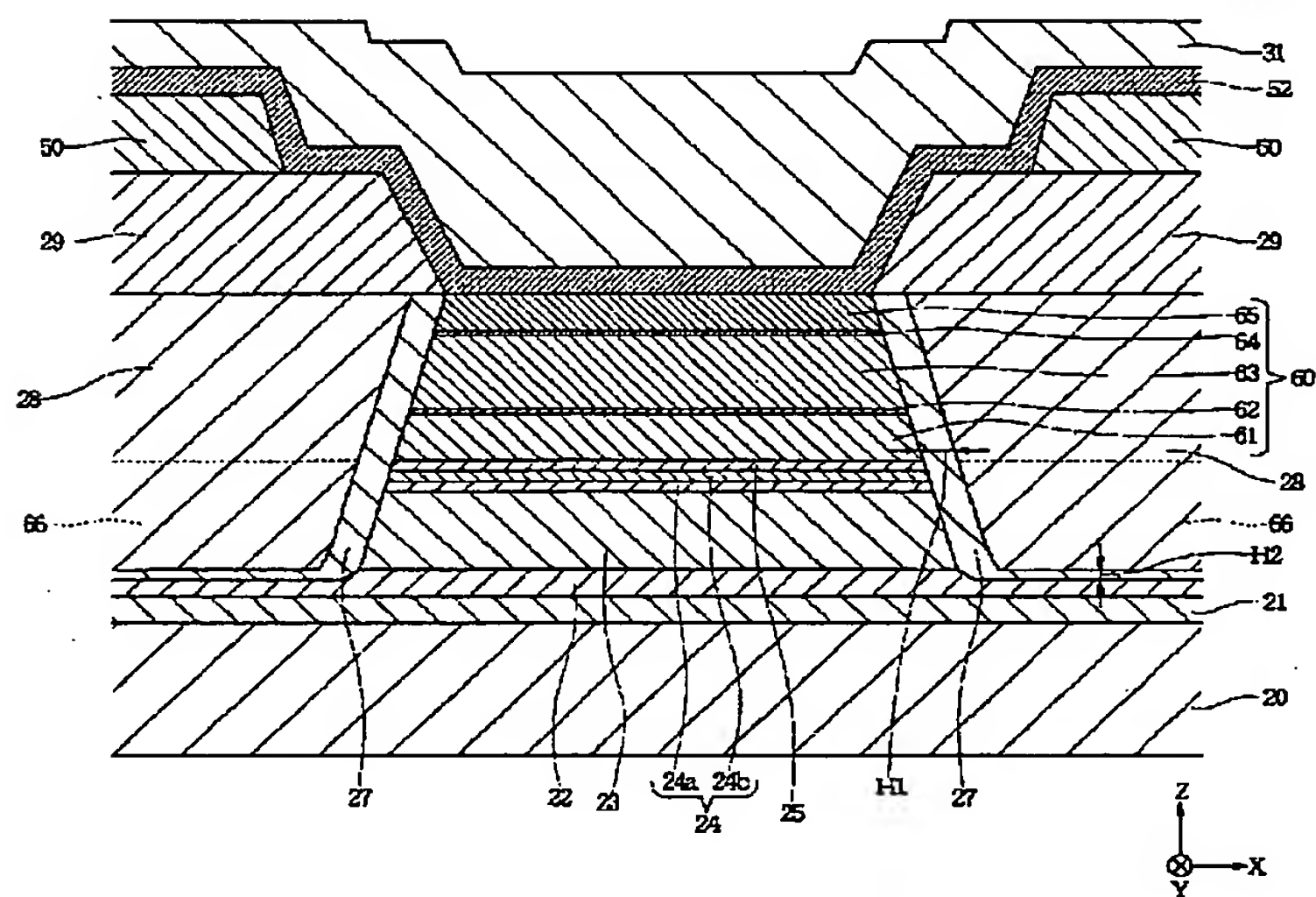
【図 19】

図 19



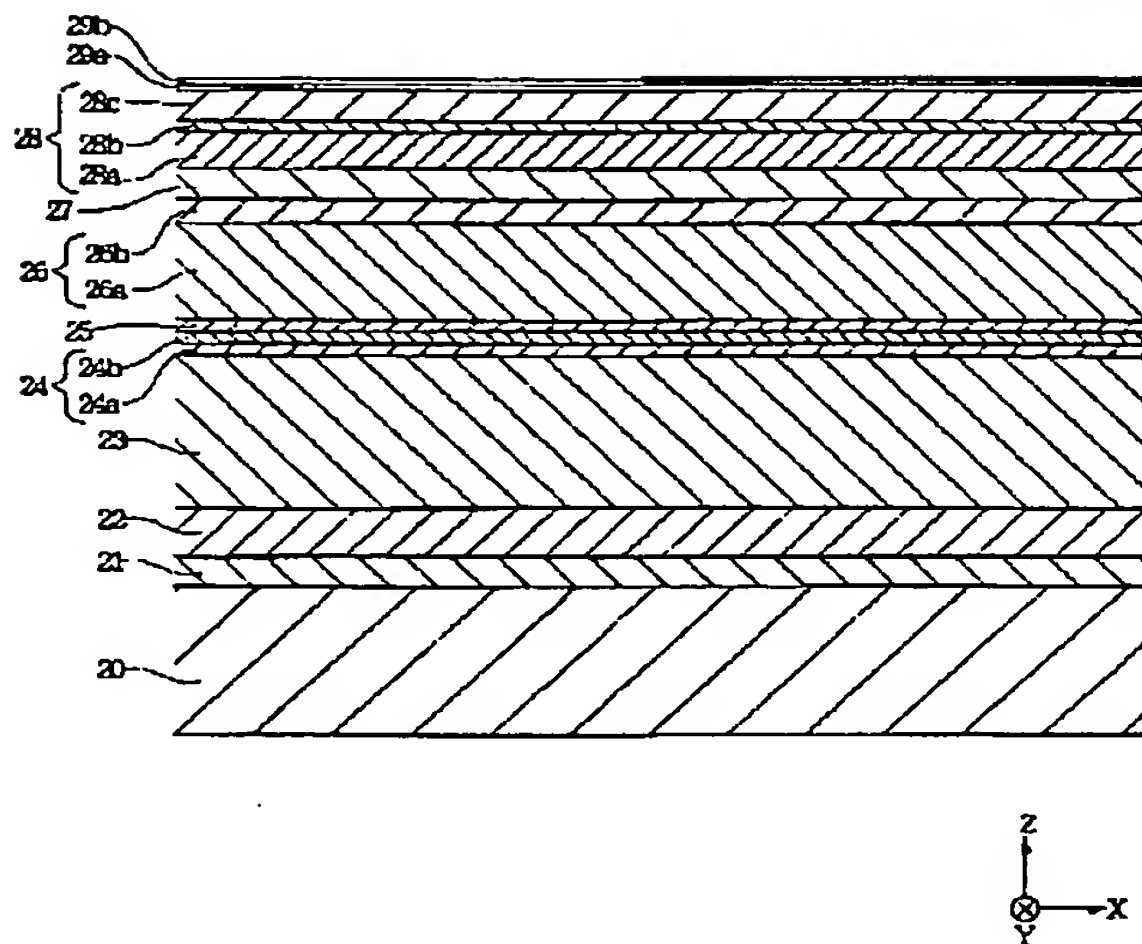
【図 11】

図 11



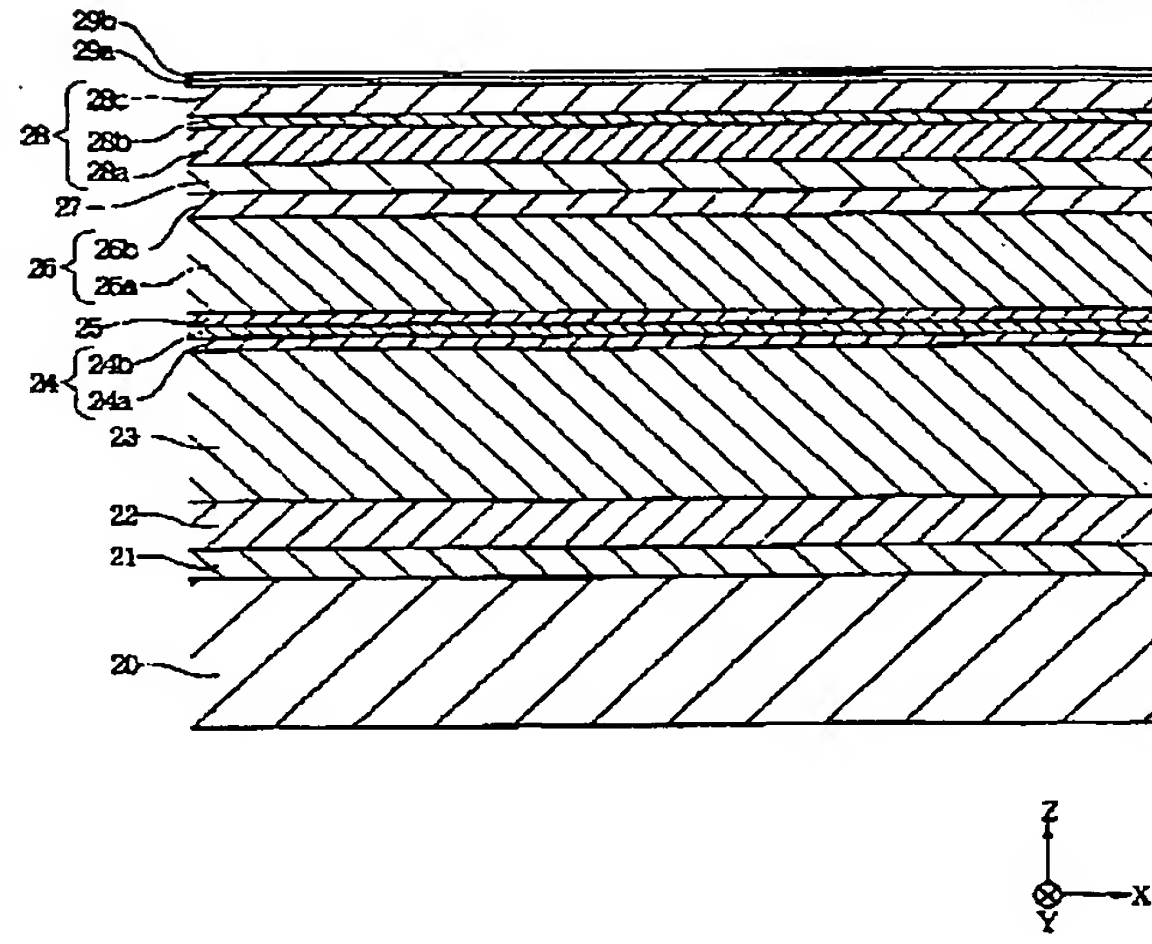
【図 12】

図 12



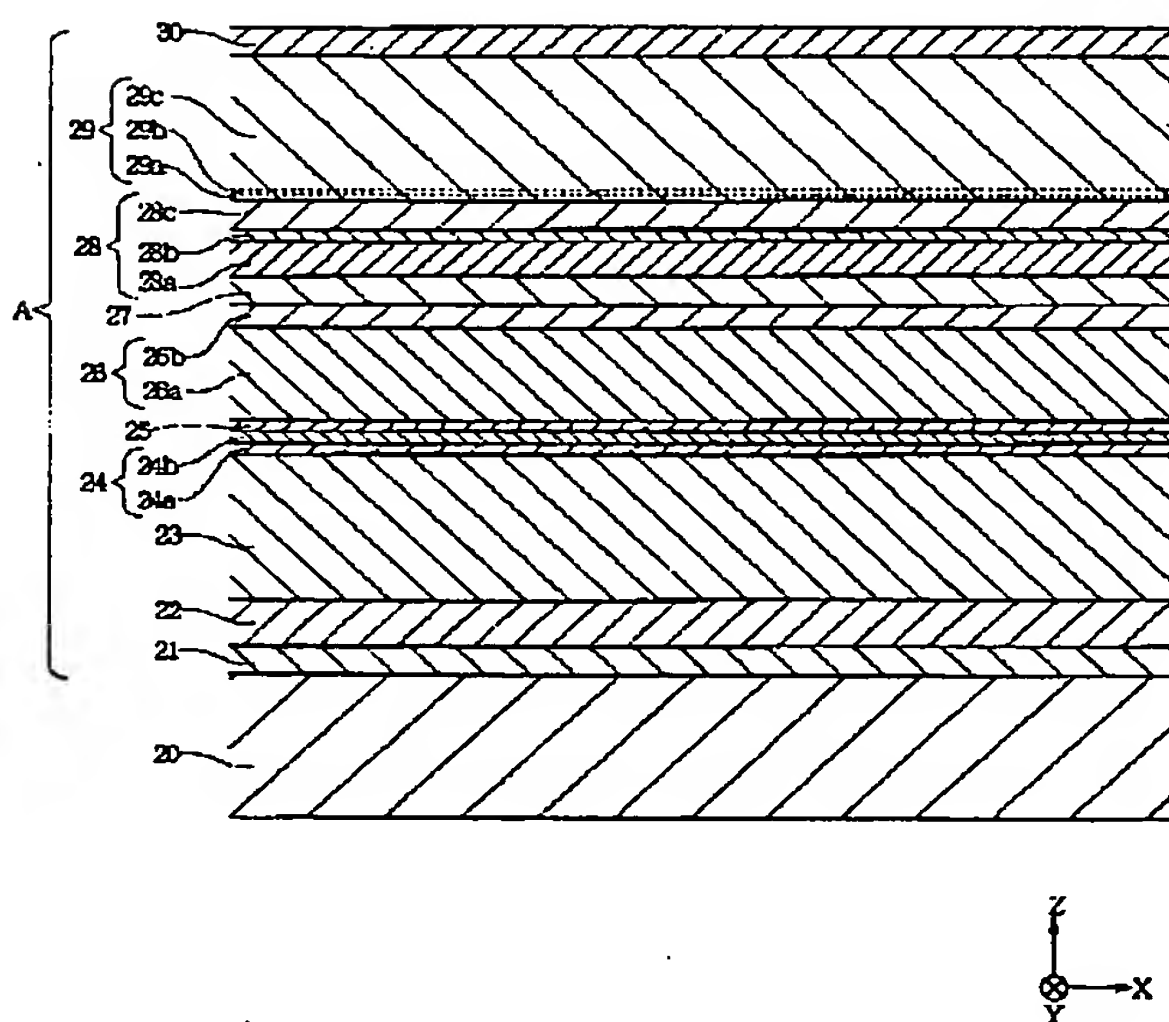
【図 13】

図 13



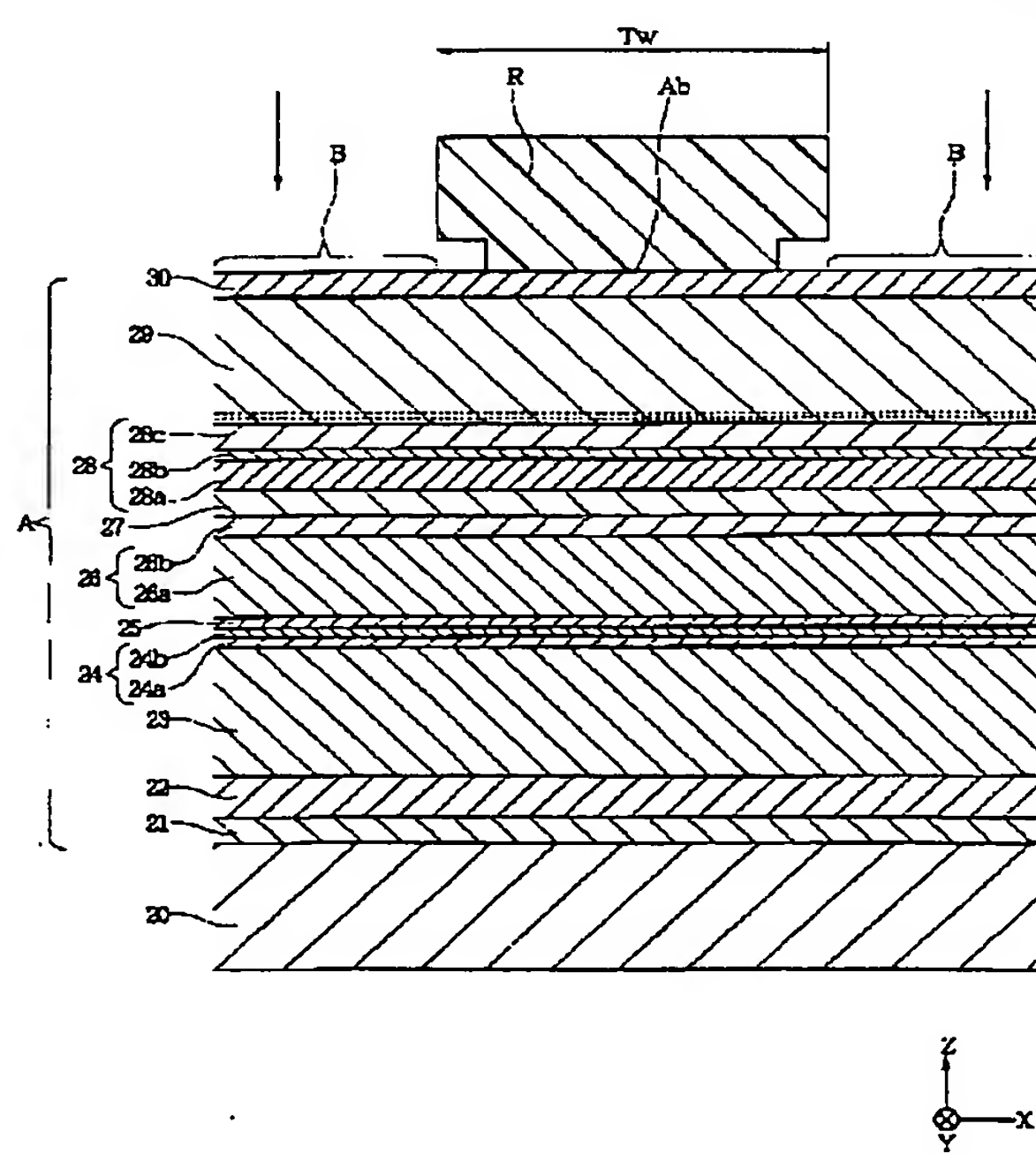
【図 14】

図 14



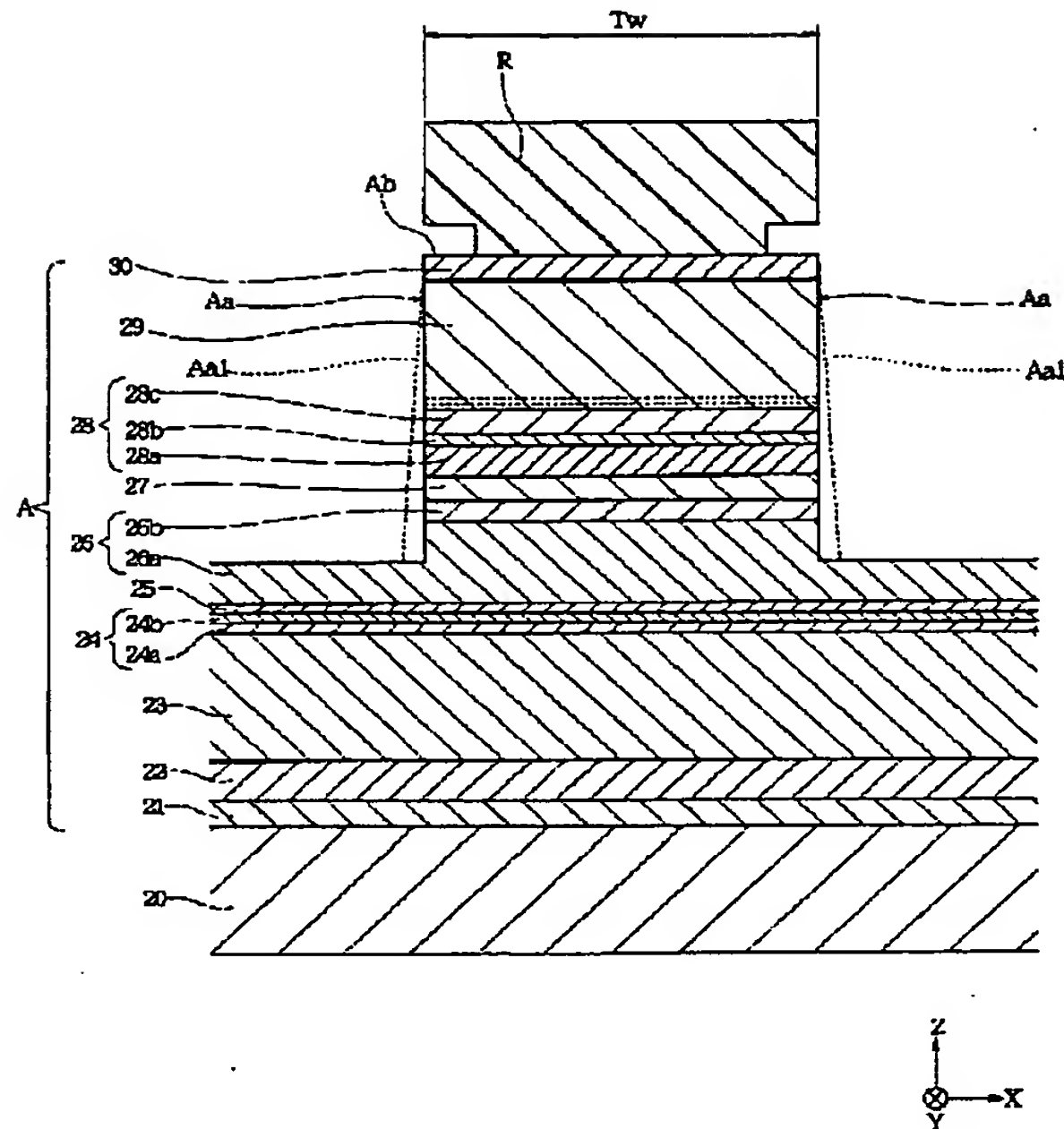
【図 15】

図 15



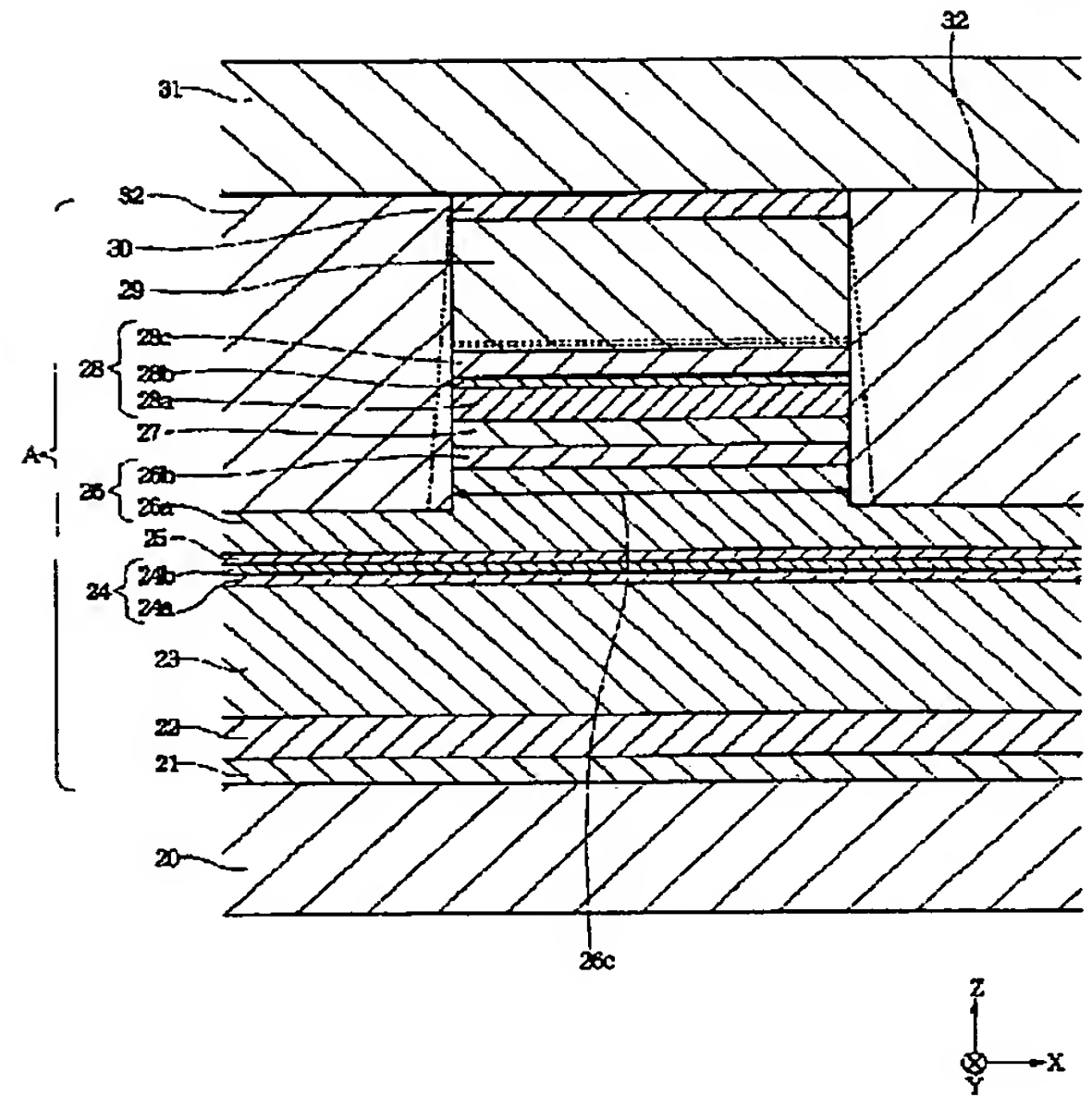
【図 16】

図 16



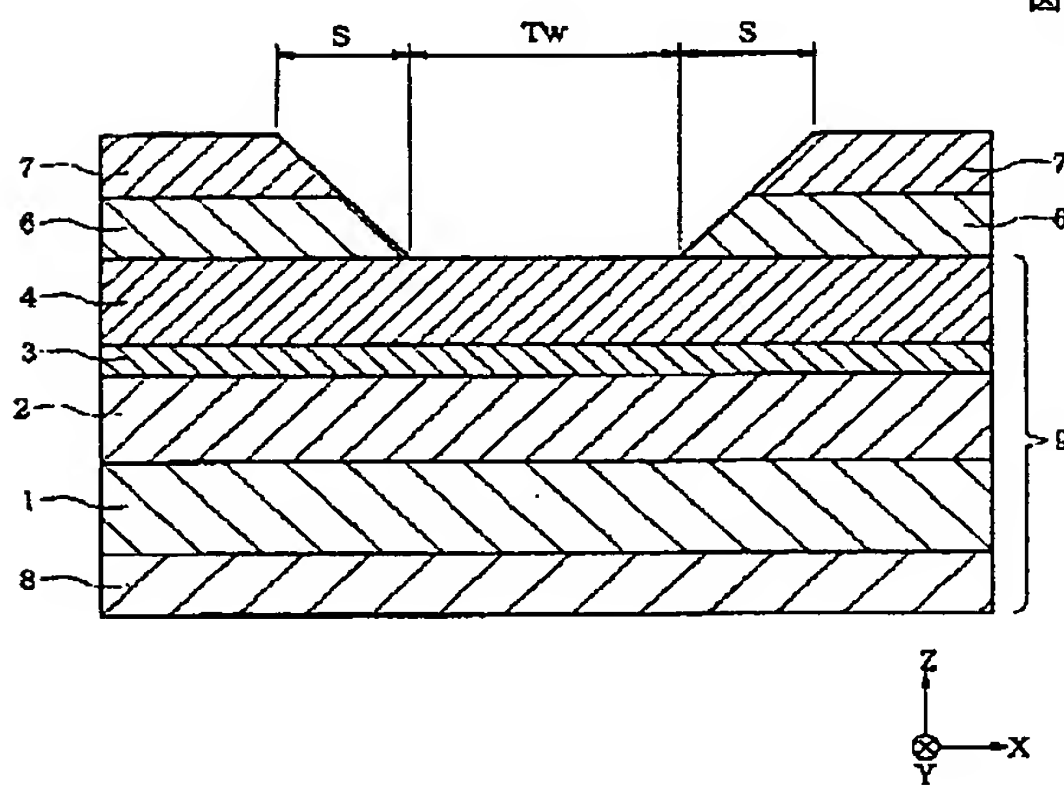
【図 17】

図 17



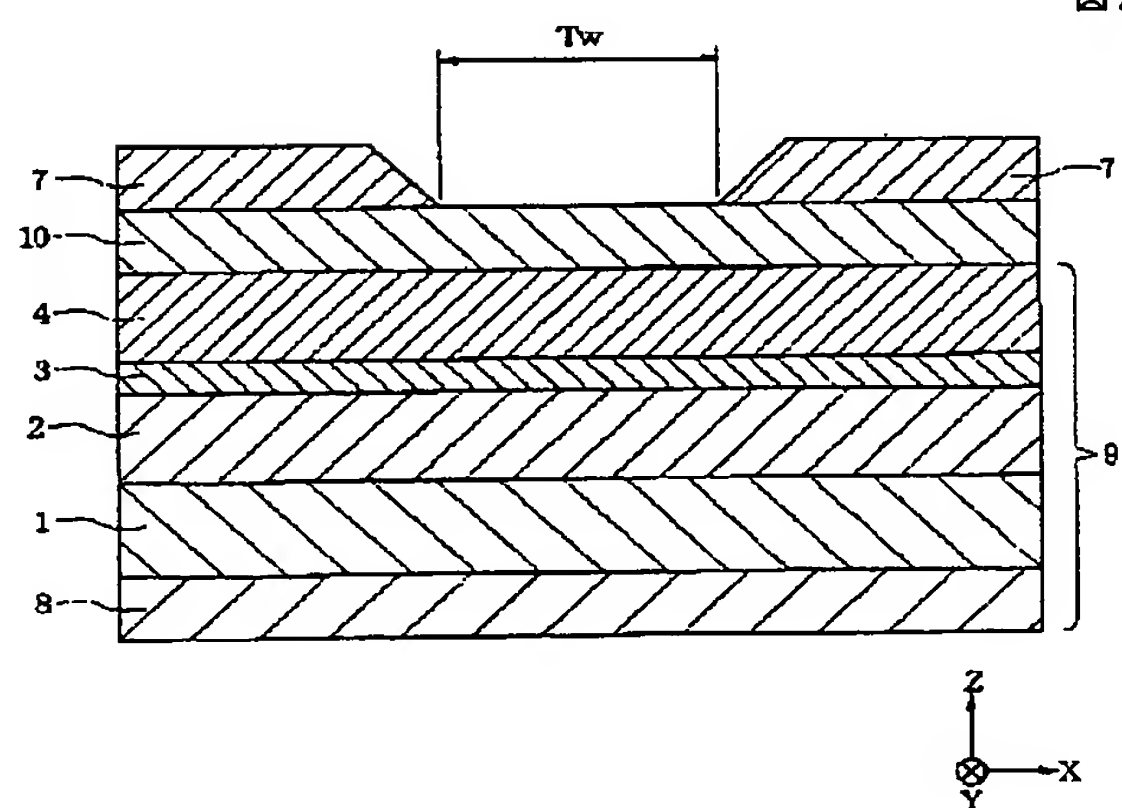
【図 18】

図 18



【図 20】

図 20



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H 0 1 L 43/10

43/12

識別記号

F I

H 0 1 L 43/10

43/12

テーマコード (参考)

F ターム(参考) 5D034 BA03 DA07
5E049 AA04 AA09 AC05 BA16 CB02
DB12

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)